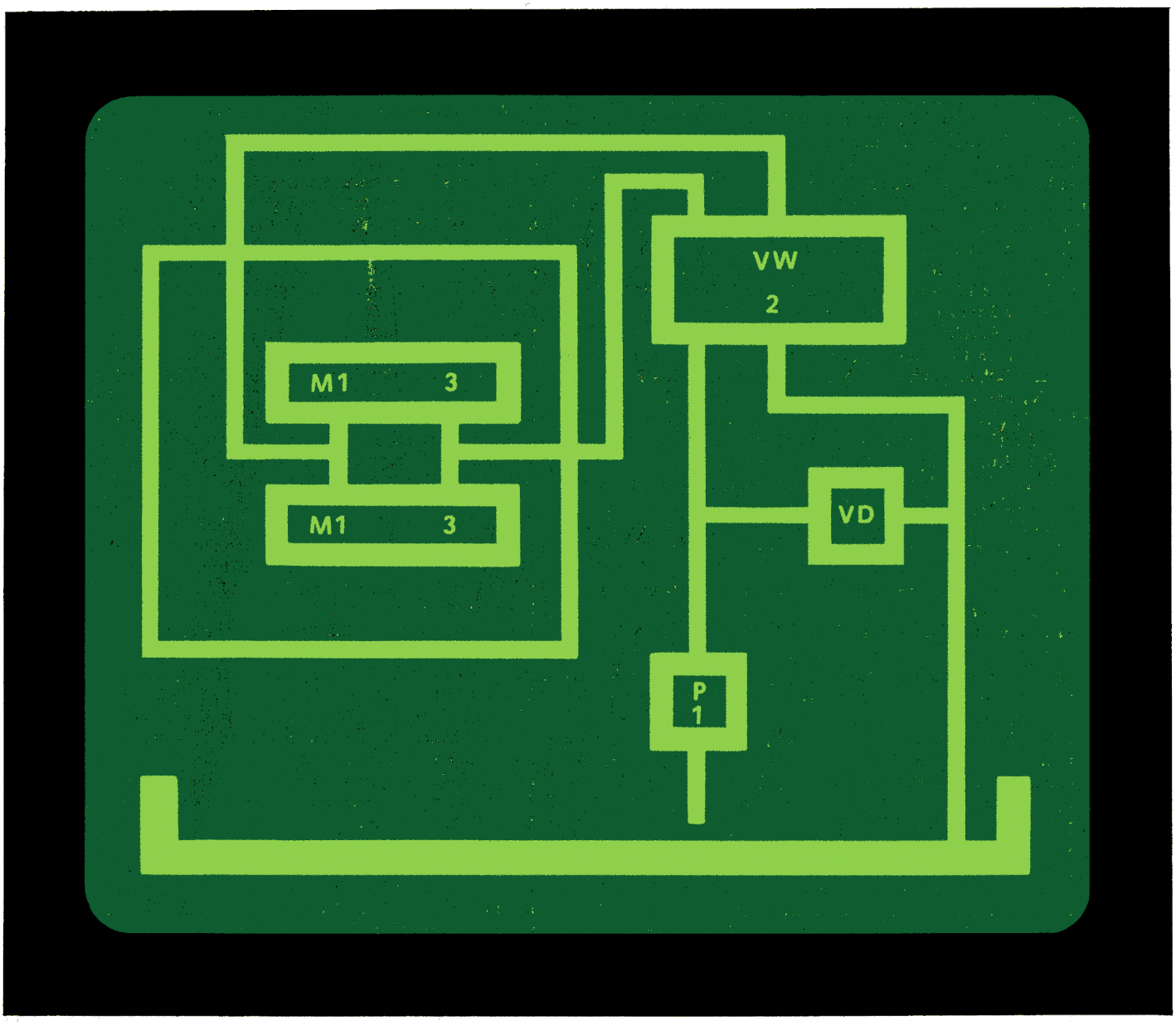
12 msr

Abteilung Elektro
5. JAN. 1983
Betrieb Ammendorf

1982

messen · steuern · regeln



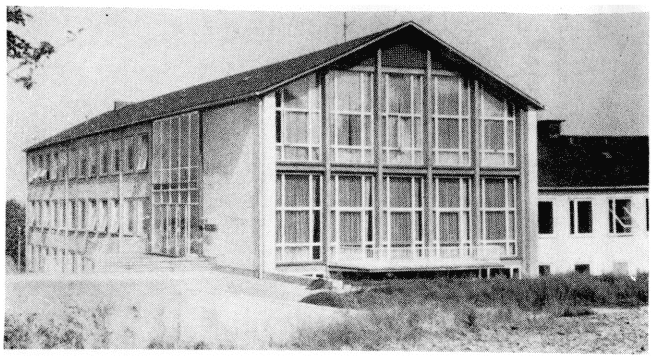
25. Jahrgang
Heft 12
Dezember 1982

Verlagspostamt Leipzig
EVP: 4,00 M

VEB Verlag Technik Berlin

Index 32525
ISSN 0026-0347

25 Jahre Regelungs- und Steuerungstechnik an der Akademie der Wissenschaften der DDR



Im Mittelpunkt der Forschungsarbeiten zur Regelungs- und Steuerungstechnik stehen gegenwärtig neben den Arbeiten zur Schaffung von Mitteln und Methoden zur automatischen Überwachung, Regelung, Führung und Optimierung technischer und technologischer Prozesse die Analyse und Synthese von Schaltsystemen zur Beherrschung des Entwurfs komplexer digitaler Systeme sowie Beiträge zur Roboterforschung einschließlich der Steuerung flexibler Fertigungsabschnitte. Abgeleitete Aufgabenstellungen, die sich vor allem auf den Entwurf und Einsatz von Bausteinen und Systemen der Mikroelektronik in der Automatisierungstechnik sowie auf die Erarbeitung regelungstechnischer Grundlagen zur Modellierung und Steuerung von Elektroenergie-Verbundsystemen und Großkraftwerken konzentrieren, zielen auf eine schnell wirksame und zugleich langfristig orientierte Zusammenführung der Grundlagenforschung mit volkswirtschaftlichen Bedürfniskomplexen geeigneter Größenordnung hin.

Diese Forschungsarbeiten erfolgen vorwiegend im Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse (ZKI) der Akademie der Wissenschaften der DDR und stützen sich insbesondere auf die langjährigen Erfahrungen der seit nunmehr 25 Jahre im Institutsteil Dresden tätigen Wissenschaftler. Am 21. Februar 1957 bestätigte das Plenum der Akademie der Wissenschaften aufgrund einer Empfehlung des Ministerrates der DDR die Gründung einer „Arbeitsstelle für Regelungs- und Steuerungstechnik" in Dresden, die 1962 in das „Institut für Regelungs- und Steuerungstechnik" umgewandelt wurde. 1969 wurde das Institutskollektiv, das bis zu diesem Zeitpunkt unter der langjährigen und erfolgreichen Leitung von Prof. Dr. *H. Kindler* gearbeitet hat, als Bereich „Technische Kybernetik" in das neugegründete Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse eingegliedert und leistet heute wesentliche Beiträge zu den eingangs genannten Aufgaben.

Ausgewählte Ergebnisse von besonderer volkswirtschaftlicher Bedeutung, die von den in dem Dresdener Kollektiv tätigen Mitarbeitern der Akademie der Wissenschaften in den 25 Jahren seit der Gründung der Arbeitsstelle für Regelungs- und Steuerungstechnik erarbeitet wurden, sind z. B.

- das universell einsetzbare Bauelementesystem DRELOBA, das auch heute noch in vielen Wirtschaftszweigen des In- und Auslandes zur Automatisierung von Produktions-, Verarbeitungs- und Betriebsprozessen erfolgreich eingesetzt wird
- die Strukturierung und Dimensionierung von elektronischen Bausteinen für diskrete Steuerungen, die bei der Entwicklung und dem Einsatz des TRANSLOG-Bausteinsystems, des ersten in der DDR verfügbaren, kontaktlos arbeitenden Systems zum Aufbau industrieller Steuerungen, unmittelbar praxiswirksam geworden sind
- das Programmsystem RENDIS zum Entwurf verbindungsprogrammierter und speicherprogrammierter industrieller Steuerungen sowie — in einer modifizierten Version — zum Entwurf von integrierten Schaltkreisen der Rechentechnik
- die Entwicklung des Corex-Zustandsspeichers, der Bestandteil des industriellen Steuerungssystems ursalog 4000 ist, und mit dem ein besonders einfacher Entwurf und transparenter Aufbau verbindungsprogrammierter Steuerungen möglich wird
- die problemorientierte Sprache STEUERGRAPH-MICRO zur Rationalisierung des Entwurfs, der Testung und Inbetriebnahme von mikrorechnerrealisierten Steuerungen
- Regelungsverfahren für Großkraftwerke, die in Verbindung mit technologischen Veränderungen zu einer Verbesserung der Manövrierfähigkeit von Kraftwerksblöcken führten
- Beiträge zur Gestaltung der Regelung und Steuerung des Elektroenergie-Verbundsystems, so zur automatischen Frequenz-Übergabeleistungsregelung im Energienetz der DDR
- die Entwicklung von fluidischen Sensoren zum Messen spezieller Prozeßgrößen unter schwierigen Randbedingungen
- die Entwicklung von Teilsystemen für Industrieroboter, z. B. einer neuartigen sensorgesteuerten pneumatischen Einrichtung zur Feinpositionierung bei Montageaufgaben.

Die Forschungsergebnisse wurden in insgesamt über 600 wissenschaftlichen Veröffentlichungen und in einer weitaus größeren Anzahl von Vorträgen auf nationalen und internationalen wissenschaftlichen Veranstaltungen publiziert. Besondere Beachtung im internationalen Rahmen haben dabei die Arbeiten zur experimentellen Prozeßanalyse und Identifikation, zur Entwicklung von RENDIS und des DRELOBA-Systems gefunden.

Um die Forschungsergebnisse der Industrie und anderen Institutionen auf kürzestem Wege zugänglich zu machen, wurden vom heutigen Institutsteil Dresden verschiedene nationale Tagungen und Weiterbildungsveranstaltungen wissenschaftlich vorbereitet und durchgeführt, darunter die Arbeitstagung „Algorithmische Prozeßanalyse" (viermal), die Arbeitstagung „Entwurf von Schaltsystemen" (elfmal) und die Herbstschule „Pneumatische Informationsverarbeitung" (neunmal). Außerdem erfolgte mehrmals eine aktive Beteiligung an Messekolloquien anläßlich der Leipziger Messe Durch Spezialvorlesungen von Mitarbeitern werden an der Technischen Universität, der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List" und der Ingenieurhochschule in Dresden die neuesten Forschungsergebnisse den Studenten dieser Einrichtungen vermittelt und der reiche Erfahrungsschatz zur Heranbildung neuer Wissenschaftlergenerationen genutzt.

Im Rahmen der Bemühungen um eine engere und organisierte Forschungskooperation wurde 1972 die Kooperationsgemeinschaft Technische Kybernetik gegründet, deren Leitung vom Institutsteil Dresden des ZKI ausgeübt wird und der außerdem die TU Dresden, die HfV Dresden und die Technischen Hochschulen Ilmenau, Magdeburg, Karl-Marx-Stadt und Leuna-Merseburg angehören. Gestützt auf den Kooperationsrat und seine Arbeitsgruppen wird seitdem wirksam zur Koordinierung der Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Technischen Kybernetik beigetragen.

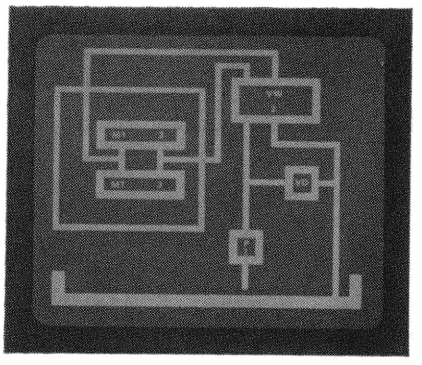
Von Anfang an wurden auch gute Kontakte zu ausländischen Forschungseinrichtungen unterhalten. So existieren teilweise bereits seit über 10 Jahren Arbeitspläne über eine gezielte Zusammenarbeit mit sechs bedeutenden Instituten der UdSSR und anderer sozialistischer Länder.

Durch die Verleihung des Nationalpreises, des Ehrentitels Verdienter Erfinder, des Ordens Banner der Arbeit und weiterer ehrenvoller Auszeichnungen wurden herausragende Forschungsergebnisse des ehemaligen Instituts für Regelungs- und Steuerungstechnik bzw. des heutigen Institutsteils Dresden des ZKI gewürdigt. Die bisher geleistete Arbeit und die vorliegende Orientierung auf volkswirtschaftliche Schwerpunktthemen geben die Gewähr, daß das Kollektiv des Institutsteils Dresden auch zukünftig mit anspruchsvollen Forschungsergebnissen seinen Beitrag zur Lösung volkswirtschaftlich vordringlicher Aufgaben der Mikroelektronik und der Automatisierungstechnik leisten wird.

msr 7741 *V. Kempe, D. Eckhardt*

msr
messen · steuern · regeln

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift für die Automatisierungstechnik



Zur Rationalisierung des kompletten Projektierungsprozesses für Strukturen aus ebenen symbolisierten Strukturelementen bietet sich der Einsatz arbeitsplatzbezogener Rechentechnik an. Dabei ermöglichen moderne periphere Geräte, wie aktive grafische Bildschirme, einen ingenieurmäßigen Mensch-Maschine-Dialog zwischen Konstrukteur und EDV-Anlage.
Mehr darüber lesen Sie im Beitrag auf S. 678.

Titelgrafik: *G. Schwesinger*

Herausgeber:

Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der KDT

Redaktionsbeirat:

Obering. G. F. Berg, Dr. rer. nat. A. Borgwardt, Dr.-Ing. E. h. W. Britall, Prof. Dr. sc. techn. W. Fritzsch Doz. Dr.-Ing. H. Fuchs, Dr. rer. nat. H. Gena, Dipl.-Ing. H. Gottschalk, Dr.-Ing. K. Hilscher, Prof. Dr.-Ing. habil. D. Hofmann, Dipl.-Ing. K. Keller, Prof. em. Dr. phil. nat. Dr.-Ing. E. h. H. Kindler, Dipl.-Phys. G. Meister, Dr.-Ing. J. Müller, Prof. Dr. sc. techn. R. Müller, Obering. K.-H. Nagel, Prof. Dr.-Ing. S. Pilz, Dr.-Ing. W. Reichel, Prof. Dr. sc. techn. K. Reinisch, Dr.-Ing. H. Schulze, Prof. Dr.-Ing. H. Töpfer, Prof. Dr. sc. oec. G. Viehweger

12
25. Jahrgang
Dezember 1982

VEB
VERLAG TECHNIK

AUFSÄTZE

ISSN 0026-0347

662 *K. Martin*
Zur Stabilisierung von Systemen mit I-Anteilen durch Ausgangsrückführung

667 *W. Sauer*
Einfluß der Meßunschärfe auf die Regressionsfunktion

669 *E. Liß*
Logische Systeme zum strukturellen Speichern und lerntypischen Verwerten von Wissen

674 *R. Fülle, B. Hartmann, S. Hiekmann* und *G. Pietzsch*
Automatisierte Energievariation am Tandem-Beschleuniger EGP 10—1 auf der Grundlage eines Prozeßrechnersystems mit verteilter Intelligenz

678 *G. Blumauer, O. Diedrich* und *U. Haderthauer*
Rechnerunterstützte Projektierung von Strukturen im Maschinenbau mit Hilfe der grafischen Datenverarbeitung

684 *W. Stopp*
Empfindlichkeitsanalyse an dynamischen volkswirtschaftlichen Modellen

687 *D. Balzer* und *B. Böhme*
Zur Abschätzung der Softwarezuverlässigkeit in automatisierten Steuerungssystemen

691 *R. Boneß* und *U. Doehl*
Zu Problemen der numerischen Lösung „steifer" Differentialgleichungssysteme für regelungstechnische Aufgabenstellungen

695 FORTSETZUNGSREIHE

697 KURZBEITRÄGE

701 TAGUNGEN UND KOLLOQUIEN

706 DISSERTATION

706 TECHNISCHE INFORMATIONEN

708 BUCHBESPRECHUNGEN

715 NEUE BÜCHER AUS DER UDSSR

716 VORSCHAU UND KURZINFORMATIONEN

Dr.-Ing. *K. Martin*, Dresden[1])

Zur Stabilisierung von Systemen mit I-Anteilen durch Ausgangsrückführung

IA 2.3.1.7.

0. Einleitung

Die Stabilisierung von Systemen durch integral wirkende Ausgangsrückführungen oder von Systemen mit Polen bei Null durch proportionale Ausgangsrückführung ist ein Problem, das beim analytischen Reglerentwurf häufig auftritt. Bei den gesuchten Rückführungen kann es sich sowohl um betriebsfähige Regelungen als auch lediglich um Anfangsnäherungen für Optimierungsrechnungen handeln [5]. In einer kürzlich erschienenen Veröffentlichung [1] wird ein einfaches, auf [6] zurückgehendes Verfahren zur Konstruktion einer solchen Rückführung angegeben. Die in [1] vorgenommene Stabilitätsabschätzung arbeitet im Zustandsraum und basiert auf Gewichtfunktionen majorisierender Eingrößensysteme.

Im Beitrag wird eine exakte Stabilitätsanalyse im Frequenzbereich unter Benutzung des Nyquist-Kriteriums für mehrvariable Systeme vorgenommen. Ausgehend davon werden einige Abschätzungen angegeben, die mit unterschiedlichem Rechenaufwand verbunden sind. Damit besteht die Möglichkeit, den Aufwand zur Stabilitätsabschätzung der jeweiligen Aufgabenstellung anzupassen. Die dazu benötigten Programme gehören zum Standard üblicher Programmpakete zur Analyse und zum Entwurf von Regelungssystemen [3].

1. Problemstellung

Problem 1: Stabilisierung einer Strecke mit I-Anteilen.

Gegeben sei ein System n-ter Ordnung mit n_2 einfachen Eigenwerten im Ursprung. Die restlichen $n_1 = n - n_2$ Eigenwerte sollen negative Realteile besitzen. Die Systemgleichungen können dann in der Gestalt

$$\begin{pmatrix}\dot{\boldsymbol{x}}_1\\ \dot{\boldsymbol{x}}_2\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\boldsymbol{A}_1 & \boldsymbol{0}\\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{0}\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\boldsymbol{x}_1\\ \boldsymbol{x}_2\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}\boldsymbol{B}_1\\ \boldsymbol{B}_2\end{pmatrix}\boldsymbol{u}\,, \tag{1.1a}$$

$$\boldsymbol{y} = (\boldsymbol{C}_1 \;\; \boldsymbol{C}_2)\begin{pmatrix}\boldsymbol{x}_1\\ \boldsymbol{x}_2\end{pmatrix} + \boldsymbol{D}\boldsymbol{u} \tag{1.1b}$$

mit

$$\boldsymbol{u}(t) \in \boldsymbol{R}^m\,, \qquad \boldsymbol{y}(t) \in \boldsymbol{R}^r\,, \qquad \boldsymbol{x}_1(t) \in \boldsymbol{R}^{n_1}\,, \qquad \boldsymbol{x}_2(t) \in \boldsymbol{R}^{n_2}$$

und der Existenzbedingung

$$\text{Rang}\,\boldsymbol{B}_2 = \text{Rang}\,\boldsymbol{C}_2 = n_2 \tag{1.2}$$

gemäß [1, Theorem 1] geschrieben werden. Das System (1.1) kann durch die Ausgangsrückführung (ARF)

$$\boldsymbol{u}(t) = -a \cdot \boldsymbol{K}_s \boldsymbol{y}(t) \tag{1.3}$$

mit

$$\boldsymbol{K}_s = \boldsymbol{B}_2^{+} \cdot \boldsymbol{C}_2^{+} \tag{1.4}$$

und geeignet zu wählendem a stabilisiert werden [1]. $(.)^+$ kennzeichnet die Pseudoinverse der Matrix (.). Wegen Gl. (1.2) gilt [2]

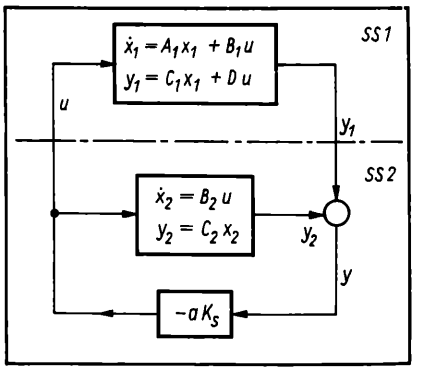
$$\boldsymbol{B}_2^{+} = \boldsymbol{B}_2'(\boldsymbol{B}_2\boldsymbol{B}_2')^{-1} \tag{1.5}$$

und

$$\boldsymbol{C}_2^{+} = (\boldsymbol{C}_2'\;\boldsymbol{C}_2)^{-1}\,\boldsymbol{C}_2'\,, \tag{1.6}$$

[1]) Mitteilung aus dem ZKI der AdW der DDR, Bereich Regelungssysteme, Dresden.

Bild 1. Systemstruktur von Problem 1



mit den Eigenschaften

$$\boldsymbol{B}_2\boldsymbol{B}_2^{+} = \boldsymbol{I}\,, \tag{1.7}$$

$$\boldsymbol{C}_2^{+}\boldsymbol{C}_2 = \boldsymbol{I}\,. \tag{1.8}$$

Die Aufgabe besteht darin, den reellen, positiven Verstärkungsfaktor a so zu bestimmen, daß das geschlossene System stabil ist.

Bemerkung 1: Das System (1.1) mit der ARF (1.3) kann gemäß Bild 1 in zwei Subsysteme SS1 und SS2 zerlegt werden. SS1 enthält den asymptotisch stabilen Teil des Systems und SS2 die Eigenwerte bei Null (I-Anteile). Die ARF (1.3) sichert die Stabilität von SS2, wenn der Einfluß von SS1 vernachlässigt wird $(\boldsymbol{y}_1(t) \equiv \boldsymbol{0})$. Dann ist

$$\begin{aligned}\dot{\boldsymbol{x}}_2 &= \boldsymbol{B}_2\boldsymbol{u}\\ &= -a\boldsymbol{B}_2\boldsymbol{K}_s\boldsymbol{C}_2\boldsymbol{x}_2\end{aligned}$$

und wegen der Gln. (1.4) bis (1.8)

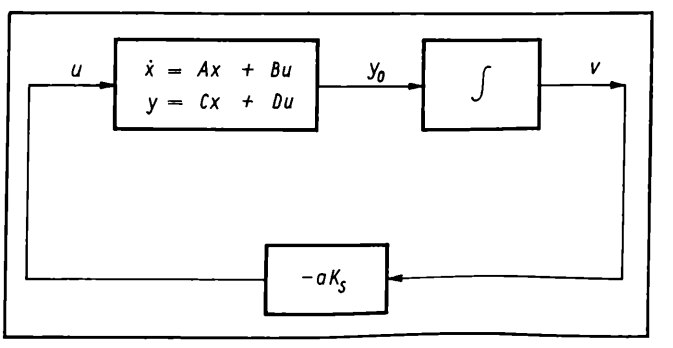
$$\dot{\boldsymbol{x}}_2 = -a\boldsymbol{x}_2\,.$$

SS2 hat durch die ARF (1.3) demnach n_2 Eigenwerte $-a$. Für die Stabilität des Gesamtsystems ist jedoch der Einfluß von SS1 zu berücksichtigen.

Problem 2: Stabilisierung einer Strecke durch I-Regler.

Aus Gründen der asymptotischen Störungsunterdrückung und Sollwertfolge ist häufig ein stabilisierender Regler mit integraler Wirkung wünschenswert. Dann besteht das Problem darin, für

Bild 2. Systemstruktur von Problem 2



eine stabile Strecke

$$\dot{\boldsymbol{x}} = \boldsymbol{A}\boldsymbol{x} + \boldsymbol{B}\boldsymbol{u}\,,$$

$$\boldsymbol{y}_0 = \boldsymbol{C}\boldsymbol{x} + \boldsymbol{D}\boldsymbol{u}$$

mit

$$\boldsymbol{u}(t) \in \boldsymbol{R}^m\,, \qquad \boldsymbol{y}_0(t) \in \boldsymbol{R}^r\,, \qquad \boldsymbol{x}(t) \in \boldsymbol{R}^n$$

eine stabilisierende I-Rückführung

$$\boldsymbol{u}(t) = -a\boldsymbol{K}_s \int_0^t \boldsymbol{y}_0(\tau)\,\mathrm{d}\tau$$

zu finden. Faßt man die Integriererzustände $\boldsymbol{v}$ (Bild 2) mit denen der Strecke zusammen, so kann das Problem auf die Form

$$\begin{pmatrix}\dot{\boldsymbol{x}}\\ \dot{\boldsymbol{v}}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\boldsymbol{A} & \boldsymbol{0}\\ \boldsymbol{C} & \boldsymbol{0}\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\boldsymbol{x}\\ \boldsymbol{v}\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}\boldsymbol{B}\\ \boldsymbol{D}\end{pmatrix}\boldsymbol{u}\,, \tag{1.9a}$$

$$\boldsymbol{y} = (\boldsymbol{0} \quad \boldsymbol{I})\begin{pmatrix}\boldsymbol{x}\\ \boldsymbol{v}\end{pmatrix} \tag{1.9b}$$

mit der gesuchten ARF

$$\boldsymbol{u}(t) = -a\boldsymbol{K}_s\boldsymbol{y}(t) \tag{1.10}$$

gebracht werden. Durch die Koordinatentransformation

$$\begin{pmatrix}\boldsymbol{x}\\ \boldsymbol{v}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\boldsymbol{I} & \boldsymbol{0}\\ \boldsymbol{C}\boldsymbol{A}^{-1} & \boldsymbol{I}\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\boldsymbol{x}_1\\ \boldsymbol{x}_2\end{pmatrix}$$

läßt sich die Zustandsgleichung (1.9) in die Form der Gl. (1.1) mit

$$\boldsymbol{A}_1 = \boldsymbol{A}\,, \qquad \boldsymbol{B}_1 = \boldsymbol{B}\,, \qquad \boldsymbol{C}_1 = \boldsymbol{C}\boldsymbol{A}^{-1}$$

überführen [1].
Dann erhält man aus Gl. (1.2) die Existenzbedingung

$$\mathrm{Rang}\,(-\boldsymbol{C}\boldsymbol{A}^{-1}\boldsymbol{B} + \boldsymbol{D}) = r \tag{1.11}$$

und aus Gl. (1.4)

$$\boldsymbol{K}_s = (-\boldsymbol{C}\boldsymbol{A}^{-1}\boldsymbol{B} + \boldsymbol{D})^+\,. \tag{1.12}$$

Zur Stabilitätsuntersuchung wird sowohl von der Gestalt gemäß Bild 2 als auch von der transformierten nach Bild 1 ausgegangen.

2. Stabilitätsuntersuchung

2.1. *Stabilitätskriterien*

Die im Frequenzbereich durchzuführende Untersuchung geht aus von dem [4]

Stabilitätskriterium I:

Die Übertragungsfunktionsmatrix (ÜFM) $\boldsymbol{G}(p)$ des aufgeschnittenen Kreises besitze r_1 Pole auf der imaginären Achse bei $\omega = 0,\ \pm j\omega_1,\ \pm j\omega_2, \ldots, \pm j\omega_k$ und r_2 Pole in der rechten Halbebene. Notwendig und hinreichend für die asymptotische Stabilität ist die Bedingung

$$\Delta \arg \det\,(\boldsymbol{I} - \boldsymbol{G}(j\omega)) = \frac{\pi}{2}\,(r_1 + 2r_2)\ ^{2}) \tag{2.1}$$

in $0 < \omega < \omega_1,\ \omega_1 < \omega < \omega_2, \ldots, \omega_k < \omega < \infty$.
Dabei ist $\Delta \arg Z(j\omega)$ die Änderung des Winkels von $Z(j\omega)$, wenn sich ω in den angegebenen Intervallen ändert.
Die direkte Anwendung des Kriteriums (2.1) mit einer allgemeinen Gestalt der ÜFM $\boldsymbol{G}(p)$ erweist sich als unzweckmäßig. Deshalb sei hier ein weiteres, aus Gl. (2.1) ableitbares Kriterium angegeben.

Stabilitätskriterium II:

Die $(r \times r)$-Frequenzmatrix (FGM) $\boldsymbol{G}(j\omega)$ des aufgeschnittenen Kreises sei in $0 < \omega < \infty$ durch Ähnlichkeitstransformation mit $\boldsymbol{T}(j\omega)$ auf Diagonalgestalt

$$\boldsymbol{G}(j\omega) = \boldsymbol{T}(j\omega)\,\boldsymbol{Q}(j\omega)\,\boldsymbol{T}^{-1}(j\omega)$$

mit

$$\boldsymbol{Q}(j\omega) = \mathrm{diag}\,(q_1(j\omega), \ldots, q_r(j\omega))$$

transformierbar. Die Bedingung (2.1) geht dann über in

$$\sum_{i=1}^{r} \Delta \arg\,(1 - q_i(j\omega)) = \frac{\pi}{2}\,(r_1 + 2r_2)\ ^{2}) \tag{2.2}$$

in $0 < \omega < \omega_1,\ \omega_1 < \omega < \omega_2, \ldots, \omega_k < \omega < \infty$.

Die charakteristischen Orte $q_i(j\omega)$ sind im allgemeinen algebraische Funktionen in ω und lassen sich nur in Sonderfällen geschlossen angeben (s. Beispiel, Abschn. 3.). Praktisch geht man so vor, daß für eine geeignet zu wählende Folge von ω-Werten die $q_i(j\omega)$ punktweise berechnet werden. Für ein gegebenes ω_i werden aus den Zustandsgleichungen die komplexwertige FGM $\boldsymbol{G}(j\omega_i)$ bestimmt und daraus wiederum durch Eigenwertberechnung die $q_i(j\omega_i)$. Da in den meisten Fällen die Anzahl r der Signale an der Schnittstelle gering (<10) sein wird, ist es der Aufwand zur Berechnung der Eigenwerte ebenfalls. Die dazu benötigten Algorithmen gehören gewöhnlich zum Bestand von Programmpaketen zur Analyse und zum Entwurf von Regelungssystemen [3].

2.2. *Berechnung des Übertragungsverhaltens des aufgeschnittenen Kreises*

Zu Problem 1:

Schneidet man den Kreis bei $\boldsymbol{y}_1$ auf (Bild 1), so erhält man

$$\boldsymbol{Y}_1(p) = [\boldsymbol{C}_1(p\boldsymbol{I} - \boldsymbol{A}_1)^{-1}\boldsymbol{B}_1 + \boldsymbol{D}]\,\boldsymbol{U}(p) \tag{2.3}$$

für SS1. Bei SS2 ist $\boldsymbol{u}$ Ausgang und $\boldsymbol{y}_1$ Eingang.
Aus Bild 1 ergibt sich

$$\dot{\boldsymbol{x}}_2 = \boldsymbol{B}_2\boldsymbol{u}\,, \tag{2.4}$$

$$\boldsymbol{u} = -a\boldsymbol{K}_s(\boldsymbol{C}_2\boldsymbol{x}_2 + \boldsymbol{y}_1)\,. \tag{2.5}$$

Einsetzen von Gl. (2.5) in Gl. (2.4), Berücksichtigung der Gln. (1.4) bis (1.8) und Laplace-Transformation liefern die Beziehung

$$\boldsymbol{X}_2(p) = \frac{-a}{p + a}\,\boldsymbol{C}_2 + \boldsymbol{Y}_1(p)\,,$$

die wiederum in die Laplace-transformierte Gleichung (2.5) eingesetzt werden kann, so daß man schließlich

$$\boldsymbol{U}(p) = -\frac{ap}{p + a}\,\boldsymbol{K}_s\boldsymbol{Y}_1(p) \tag{2.6}$$

erhält. Aus den Gln. (2.3) und (2.6) folgt die ÜFM des aufgeschnittenen Kreises

$$\boldsymbol{G}(p) = -\frac{ap}{p + a}\,\boldsymbol{G}_0(p) \tag{2.7}$$

mit

$$\boldsymbol{G}_0(p) = [\boldsymbol{C}_1(p\boldsymbol{I} - \boldsymbol{A}_1)^{-1}\boldsymbol{B}_1 + \boldsymbol{D}]\,\boldsymbol{K}_s\,. \tag{2.8}$$

Zu Problem 2:

Öffnen des Kreises bei $\boldsymbol{y}_0$ oder $\boldsymbol{v}$ (Bild 2) liefert sofort

$$\boldsymbol{G}(p) = -\frac{a}{p}\,\boldsymbol{G}_0(p) \tag{2.9}$$

mit

$$\boldsymbol{G}_0(p) = [\boldsymbol{C}(p\boldsymbol{I} - \boldsymbol{A})^{-1}\boldsymbol{B} + \boldsymbol{D}]\,\boldsymbol{K}_s \tag{2.10}$$

für die (r, r)-ÜFM des aufgeschnittenen Kreises. Ein Vergleich der Gln. (1.12), (2.10) und von Bild 2 zeigt, daß $\boldsymbol{K}_s$ die Pseudo-

---

[2]) Die Schließung des Kreises geschieht hier ohne die i. a. übliche Vorzeichenumkehr.

inverse der Streckenverstärkung ist und deshalb wegen Gl. (1.11)

$$\boldsymbol{G}_0(0) = \boldsymbol{I} \tag{2.11}$$

gilt [2].
Bemerkenswert ist hier, daß der Faktor a nur in den skalaren Teil von $\boldsymbol{G}(p)$ gemäß den Gln. (2.7) und (2.9) eingeht.

Bemerkung 2: Die Anwendung der folgenden Analysemethoden ist auch möglich, wenn das System durch Übertragungsfunktionsmatrizen beschrieben wird. Bei Problem 1 ist es dann erforderlich, die Pole bei $p = 0$ durch eine teilweise Partialbruchzerlegung abzuspalten, so daß eine Zerlegung gemäß Bild 1 möglich wird. $\boldsymbol{K}_s$ ist dann so zu bestimmen, daß das rückgeführte SS2 n_2 Pole $p = -a$ hat.

2.3. *Exakte Analyse mittels Kriterium* II

Zu Problem 1:

Da SS1 als stabil und $a > 0$ vorausgesetzt wurden, ist die ÜFM (2.7) stabil ($r_1 = r_2 = 0$) und das Kriterium (2.2) geht über in

$$\sum_{i=1}^{r} \Delta \arg\,(1 - q_i(j\omega)) = 0 \quad \text{in} \quad 0 \leqq \omega < \infty\,. \tag{2.12}$$

Die charakteristischen Ortskurven $q_i(j\omega)$ der FGM $\boldsymbol{G}(j\omega)$ nach Gl. (2.7) sind

$$q_i(j\omega) = -\frac{j\omega a}{j\omega + a}\, q_{0i}(j\omega) \qquad (i = 1, \ldots, r) \tag{2.13}$$

mit den $q_{0i}(j\omega)$ als charakteristischen Ortskurven von $\boldsymbol{G}_0(j\omega)$ gemäß Gl. (2.8). Einsetzen von Gl. (2.13) in Gl. (2.12) ergibt

$$\sum_{i=1}^{r} \Delta \arg\left(1 + \frac{j\omega a}{j\omega + a}\, q_{0i}(j\omega)\right) = 0 \quad \text{in} \quad 0 < \omega < \infty\,. \tag{2.14}$$

Um eine einfacher auswertbare Beziehung zu erhalten, wird Gl. (2.14) umgeformt in

$$\sum_{i=1}^{r} \left\{ \Delta \arg\left(\frac{j\omega a}{j\omega + a}\right) + \Delta \arg\left(\frac{1}{a} + \frac{1}{j\omega} + q_{0i}(j\omega)\right)\right\} = 0\,.$$

Mit

$$\Delta \arg \frac{j\omega a}{j\omega + a} = \frac{\pi}{2} \quad \text{in} \quad 0 < \omega < \infty$$

bei $a > 0$ folgt dann das endgültige Kriterium

$$\sum_{i=1}^{r} \Delta \arg\left(\frac{1}{a} + \tilde{q}_i\,(j\omega)\right) = r\frac{\pi}{2} \quad \text{in} \quad 0 < \omega < \infty \tag{2.15}$$

mit

$$\tilde{q}_i(j\omega) = \frac{1}{j\omega} + q_{0i}(j\omega)\,. \tag{2.16}$$

Das Kriterium (2.15) wird angewendet, indem die Winkeländerung φ_i des Vektors vom kritischen Punkt $-\frac{1}{a}$ $(a > 0)$ die Kurve $\tilde{q}_i(j\omega)$ bei ω-Änderung im Intervall $(0, \infty)$ für alle i bestimmt wird. Die Summe der φ_i muß dann den Wert $r\,\pi/2$ haben,

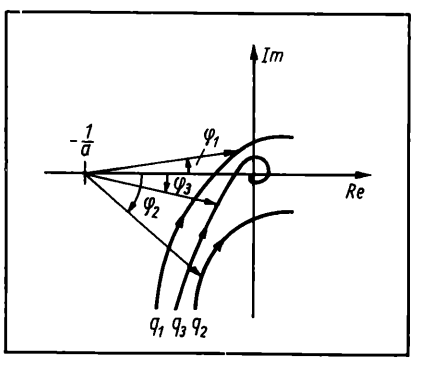


Bild 3. Stabilitätsuntersuchung ($r = 3$) mit charakteristischen Ortskurven

wenn das System für das angenommene a stabil sein soll (Bild 3). Auf diese Weise können relativ schnell alle Werte von a ermittelt werden, für die das System stabil ist.
Das Vorgehen zur Stabilitätsanalyse kann zusammenfassend in folgenden Schritten dargestellt werden:

1) Transformiere die Zustandsgleichungen des Systems in die Gestalt der Gl. (1.1).
2) Prüfe die Bedingung Rang $\boldsymbol{B}_2$ = Rang $\boldsymbol{C}_2 = n_2$.
3) Berechne $\boldsymbol{K}_s$ gemäß Gl. (1.4).
4) Wähle eine ausreichend dichte Folge von ω-Werten und berechne für jedes ω_i:

4a) $\boldsymbol{G}_0(j\omega_i)$ nach Gl. (2.8)

4b) sowie die r Eigenwerte $q_{0i}(j\omega_i)$ der komplexwertigen Matrix $\boldsymbol{G}_0(j\omega_i)$.

5) Zeichne die Kurven $\tilde{q}_i(j\omega) = \frac{1}{j\omega} + q_{0i}(j\omega)$.
6) Wende das Stabilitätskriterium (2.15) an, um diejenigen Werte von a zu bestimmen, für die das System stabil ist.

Zu Problem 2:

Die ÜFM des aufgeschnittenen Kreises (2.3) hat r Pole bei $p = 0$. Deshalb lautet das Kriterium (2.2) mit $r_1 = r$, $r_2 = 0$

$$\sum_{i=1}^{r} \Delta \arg\,(1 - q_i(j\omega)) = r\,\frac{\pi}{2} \quad \text{in} \quad 0 < \omega < \infty\,. \tag{2.17}$$

Die charakteristischen Orte $q_i(j\omega)$ erhält man aus der FGM gemäß Gl. (2.9) zu

$$q_i(j\omega) = -a\tilde{q}_i(j\omega)\,,$$

mit

$$\tilde{q}_i(j\omega) = \frac{1}{j\omega}\, q_{0i}(j\omega) \tag{2.18}$$

und $q_{0i}(j\omega)$ als charakteristische Orte von $\boldsymbol{G}_0(j\omega)$ nach Gl. (2.10), so daß aus Gl. (2.17) durch Ausklammern von a das Stabilitätskriterium

$$\sum_{i=1}^{r} \Delta \arg\left(\frac{1}{a} + \tilde{q}_i(j\omega)\right) = r\frac{\pi}{2} \quad \text{in} \quad 0 < \omega < \infty \tag{2.19}$$

entsteht. Die Anwendung des Kriteriums (2.19) geht in der gleichen Weise wie für das Problem 1 vor sich. Der einzige Unterschied besteht in der Bildung der q_i nach Gl. (2.18) und der zugehörigen q_{0i}.

Bemerkung 3: Das Stabilitätskriterium läßt auch eine Erweiterung der Untersuchung auf instabile Systeme zu. Ebenso kann überprüft werden, ob ein bestimmter vorgegebener Stabilitätsrand eingehalten werden kann. Für beide Probleme jedoch kann die Existenz einer Lösung nicht garantiert werden.

Folgerung 1:

Für die Probleme 1 und 2 gleichermaßen gilt aufgrund der vorausgesetzten Stabilität von $G_0(p)$ nach Gl. (2.8) bzw. (2.10), daß die $q_{0i}(j\omega)$ beschränkt für alle ω sind. Daraus folgt

$$\text{Im}\, q_i(j\omega) \to -\infty \quad \text{für} \quad \omega \to 0$$

und Re $q_i(0)$ beschränkt, so daß für die Winkel φ_i (Bild 3)

$$\lim_{\omega \to 0} \varphi_i(j\omega) = -\frac{\pi}{2} \qquad (i = 1, \ldots, r)$$

gilt. Für $\omega \to \infty$ enden die charakteristischen Ortskurven bei

Problem 1: im Nullpunkt, auf der reellen Achse oder in betragsbeschränkten, paarweise konjugiert komplexen Punkten der Ebene, da $\boldsymbol{G}_0(j\omega)$ für $\omega \to \infty$ reell ist und die $q_{0i}(j\omega)$ für $\omega \to \infty$ folglich höchstens konjugiert komplex sind;

Problem 2: im Nullpunkt, da $\boldsymbol{G}_0(j\omega)$ und die $q_{0i}(j\omega)$ für $\omega \to \infty$ beschränkt sind und folglich

$$\lim_{\omega \to \infty} \frac{q_{0i}(j\omega)}{j\omega} = 0$$

ist.

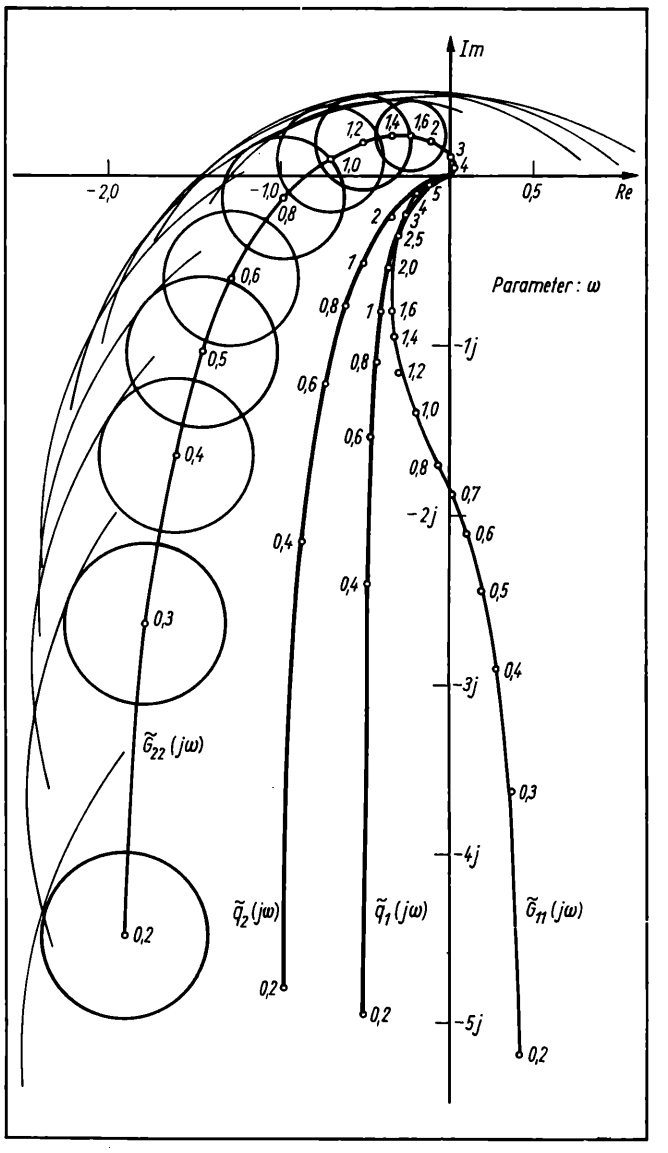


Bild 4. Charakteristische Ortskurven, Ortskurven der Hauptdiagonalelemente mit zugehörigen Gershgorin-Bändern für das Beispiel

Damit folgt aus den Kriterien (2.15) und (2.19) für die Probleme 1 und 2 die

1. hinreichende Stabilitätsbedingung:
   Für die Stabilität ist hinreichend, daß der kritische Punkt $-1/a$ links aller Schnittpunkte der charakteristischen Ortskurven $q_i(j\omega)$ $(i = 1, \ldots, r)$ mit der reellen Achse liegt.

Diese Bedingung ist weniger hinsichtlich einer direkten Anwendung interessant, sie dient vielmehr im nächsten Abschnitt als Beweismittel.

2.4. Abschätzung durch Anwendung des Satzes von Gershgorin

Da einerseits die Berechnung der charakteristischen Ortskurven einen gewissen Rechenaufwand erfordert und andererseits eine Abschätzung der Stabilitätsgrenze oft ausreichend ist, soll hier aufgrund einer Abschätzung der charakteristischen Ortskurven über den Satz von *Gershgorin* eine Stabilitätsaussage getroffen werden.

Satz von *Gershgorin* [2]:

> Die Eigenwerte λ einer allgemeinen komplexen Matrix $\boldsymbol{A} = (a_{ik})$ liegen innerhalb oder auf dem Rande des Gebiets $\boldsymbol{G}$ der komplexen λ-Ebene, gebildet aus den n Kreisen K_i mit den Mittelpunkten a_{ii} und den Radien
>
> $$r_i = \sum_{k \neq i} |a_{ki}| ,$$
>
> also gleich den Zeilensummen der Nichtdiagonalelemente. Gleiches gilt für ein Gebiet, dessen Radien aus den Spaltensummen berechnet wurden.

Setzt man nun die FGM $\boldsymbol{G}(j\omega)$ aus Gl. (2.7) bzw. Gl. (2.9) in das Stabilitätskriterium I (2.1) ein, so erhält man nach zu Abschnitt 2.3 analogem Vorgehen

$$\Delta \arg \det \left(\frac{1}{a} + \tilde{\boldsymbol{G}}(j\omega) \right) = r \frac{\pi}{2}$$

mit

$$\tilde{\boldsymbol{G}}(j\omega) = j\omega \boldsymbol{I} + \boldsymbol{G}_0(j\omega) \tag{2.20}$$

für Problem 1 ($\boldsymbol{G}_0$ nach Gl. (2.8)) und

$$\tilde{\boldsymbol{G}}(j\omega) = \frac{1}{j\omega} \boldsymbol{G}_0(j\omega) \tag{2.21}$$

für Problem 2 ($\boldsymbol{G}_0$ nach Gl. (2.10)).

Mit der Schreibweise $\tilde{G}_{ik}(j\omega)$ bzw. $G^0_{ik}(j\omega)$ für die Elemente von $\tilde{\boldsymbol{G}}(j\omega)$ bzw. $\boldsymbol{G}_0(j\omega)$ ergibt die Anwendung des Gershgorin-Satzes folgendes. Zeichnet man die Ortskurve **eines** Diagonalelementes $\tilde{G}_{ii}(j\omega)$ von $\tilde{\boldsymbol{G}}(j\omega)$, so ergibt sich zu jedem Punkt der Kurve ein Gershgorin-Kreis $K_i(j\omega)$, der aufgrund der Beschränktheit der $G^0_{ik}(j\omega)$ und wegen Gl. (2.11) stets einen endlichen Radius besitzt.

Die Vereinigung

$$\boldsymbol{B}_i = \bigcup_{0<\omega<\infty} K_i(j\omega)$$

bildet ein sog. Gershgorin-Band um die Kurve $\tilde{G}_{ii}(j\omega)$ (s. Bild 4 als Beispiel).

In dem Vereinigungsgebiet

$$\boldsymbol{B} = \bigcup \boldsymbol{B}_i$$

aller dieser Bänder liegen alle charakteristischen Ortskurven $\tilde{q}_i(j\omega)$. Insbesondere liegen auch alle Schnittpunkte der $\tilde{q}_i(j\omega)$ mit der reellen Achse in $\boldsymbol{B}$, somit folgt aus der 1. hinreichenden Stabilitätsbedingung die

2. hinreichende Stabilitätsbedingung:
   Für die Stabilität ist hinreichend, daß der kritische Punkt $-1/a$ links aller Schnittpunkte des Gebiets $\boldsymbol{B}$ mit der reellen Achse liegt.

Bei dieser Bedingung ist die punktweise Berechnung der FGM $\boldsymbol{G}(j\omega)$ ausreichend. Der geringere Rechenaufwand (Berechnung der Eigenwerte entfällt) wird durch einen höheren zeichnerischen Aufwand ersetzt. Das Stabilitätsintervall bezüglich a wird nach der sicheren Seite abgeschätzt.

2.5. Abschätzung über Matrizennormen

Aus der Bedingung (2.12) für einen stabilen aufgeschnittenen Kreis folgt sofort, daß

$$|q_i(j\omega)| < 1 \qquad (0 < \omega < \infty;\ i = 1, \ldots, r) \tag{2.22}$$

für asymptotische Stabilität hinreichend ist. Da für alle Eigenwerte λ einer Matrix $\boldsymbol{A}$ stets

$$|\lambda| \leqq ||\boldsymbol{A}||$$

gilt[3]) [2], erhält man die Bedingung

$$||\boldsymbol{G}(j\omega)|| < 1 \quad \text{in} \quad 0 < \omega < \infty \tag{2.23}$$

an die FGM des aufgeschnittenen Kreises. Anwendung auf Problem 1 liefert mit den Gln. (2.7) und (2.8)

$$\left| \frac{j\omega a}{j\omega + a} \right| \cdot ||\boldsymbol{G}_0(j\omega)|| < 1 \quad \text{in} \quad 0 < \omega < \infty ,$$

[3]) $||.||$ kennzeichnet eine Matrixnorm.

woraus wegen $\left|\frac{j\omega}{j\omega + a}\right| \leqq 1$

$$a||\boldsymbol{G}_0(j\omega)|| < 1 \quad \text{in} \quad 0 < \omega < \infty \tag{2.24}$$

folgt. Somit erhält man eine
3. hinreichende Stabilitätsbedingung:
Für Problem 1 ist

$$0 < a < \frac{1}{\max\limits_{\omega} ||\boldsymbol{G}_0(j\omega)||} \tag{2.25}$$

hinreichend für asymptotische Stabilität ($\boldsymbol{G}_0$ gemäß Gl. (2.8)).
Gegenüber der 2. hinreichenden Bedingung ist hier besonders der zeichnerische Aufwand reduziert, denn es reicht aus, eine Kurve zu zeichnen bzw. deren Maximum abzuschätzen.

Aus Gl. (2.24) folgt mit Gl. (2.8)

$$a||\boldsymbol{G}_1(j\omega)|| \cdot ||\boldsymbol{K}_s|| < 1 \quad \text{in} \quad 0 < \omega < \infty$$

mit

$$\boldsymbol{G}_1(j\omega) = \boldsymbol{C}_1(j\omega\boldsymbol{I} - \boldsymbol{A})^{-1}\boldsymbol{B}_1 + \boldsymbol{D}$$

als FGM des SS1. Schätzt man $||\boldsymbol{G}_1(j\omega)||$ anhand der zugehörigen Gewichtsfunktionsmatrix

$$\boldsymbol{G}_1(t) = \boldsymbol{C}_1 \mathrm{e}^{-\boldsymbol{A}_1 t}\boldsymbol{B}_1 + \boldsymbol{D}\delta(t)$$

über den durch die Fourier-Transformation

$$\boldsymbol{G}_1(j\omega) = \int_0^\infty \boldsymbol{G}_1(t)\, \mathrm{e}^{-j\omega t}\, \mathrm{d}t$$

gegebenen Zusammenhang zu

$$||\boldsymbol{G}_1(j\omega)|| \leqq \int_0^\infty ||\boldsymbol{G}_1(t)||\, \mathrm{d}t$$

ab, so erhält man schließlich die
4. hinreichende Stabilitätsbedingung:
Für Problem 1 ist

$$0 < a < \frac{1}{||\boldsymbol{K}_s|| \cdot v_1} \tag{2.26}$$

mit

$$v_1 = \int_0^\infty ||\boldsymbol{C}_1 \mathrm{e}^{-\boldsymbol{A}_1 t}\boldsymbol{B}_1||\mathrm{d}t + ||\boldsymbol{D}|| \tag{2.27}$$

hinreichend für asymptotische Stabilität.
Gl. (2.26) stellt gegenüber der in [1] angegebenen Bedingung eine Verbesserung um den Faktor 2 dar.
Um die 3. und 4. Stabilitätsbedingung auf Problem 2 anwenden zu können, ist dieses zu transformieren (s. Abschn. 2.).

3. Beispiel

Das System mit den Zustandsgleichungen

$$\dot{\boldsymbol{x}} = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -2 \end{pmatrix}\boldsymbol{x} + \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ 3 & 2 \end{pmatrix}\boldsymbol{u}\,,$$

$$\boldsymbol{y} = \frac{1}{1{,}25}\begin{pmatrix} -1 & 1 \\ -3 & 2 \end{pmatrix}\boldsymbol{x}\,,$$

ist durch einen I-Regler zu stabilisieren.
Nach Gl. (1.12) ergibt sich $\boldsymbol{K}_s$ zu

$$\boldsymbol{K}_s = 1{,}25\begin{pmatrix} -2 & 0 \\ 6 & -1 \end{pmatrix}$$

und damit $\boldsymbol{G}_0(p)$ nach Gl. (3.10) zu

$$\boldsymbol{G}_0(p) = \frac{1}{(p+1)(p+2)}\begin{pmatrix} 4p+2 & -p \\ 6p & -p+2 \end{pmatrix}. \tag{3.1}$$

Die charakteristischen Ortskurven gemäß Gl. (2.18)

$$\tilde{q}_1(j\omega) = \frac{2}{j\omega(j\omega + 2)}, \qquad \tilde{q}_2(j\omega) = \frac{1}{j\omega(j\omega + 1)}$$

sind im Bild 4 dargestellt. Daraus ergibt sich, durch Anwendung des Kriteriums (2.19) mit $r = 2$, daß das System für

$$0 < a < \infty$$

asymptotisch stabil ist. Im Bild 4 sind ebenfalls die Frequenzgänge der Hauptdiagonalelemente von $\boldsymbol{G}(j\omega)$ (Gl. (2.21))

$$\tilde{G}_{11}(j\omega) = \frac{2(j\omega + 2)}{j\omega(j\omega + 1)(j\omega + 2)}\,;$$

$$\tilde{G}_{22}(j\omega) = \frac{2 - j\omega}{j\omega(j\omega + 1)(j\omega + 2)},$$

mit den zugehörigen Gershgorin-Kreisen eingezeichnet.
Aus den verschiedenen hinreichenden Bedingungen ergibt sich:

Bedingung	abgeschätztes Stabilitätsintervall
2.	$0 < a < 0{,}66$
3.	$0 < a < 0{,}38$
4.	$0 < a < 0{,}025$

Demgegenüber erhält man aus der von [1] angegebenen Abschätzung

$$0 < a < 0{,}0125\,.$$

Bei der 3. Bedingung wurde die Zeilennorm ($\max ||\boldsymbol{G}_0(j\omega)|| \approx 2{,}62$ bei $\omega \approx 1{,}15$) und bei der 4. und 5. Bedingung die Spaltennorm für $v_1 \approx 4{,}6$ und die Zeilennorm für $||\boldsymbol{K}_s|| = 8{,}75$ verwendet.
Ausgehend von den Ergebnissen des Beispiels zeigt sich, daß die Stabilitätsabschätzung über die Norm der Frequenzgangmatrix (3. Bedingung) nur wenig vorsichtigere Ergebnisse liefert als die Abschätzung mit dem Gershgorin-Satz (2. Bedingung), dabei keinen grafischen Aufwand erfordert und der reine Rechenaufwand etwa gleich ist. Der Vergleich mit der Abschätzung über majorisierende Gewichtsfunktionen (4. Bedingung) zeigt für die 3. Bedingung einen deutlich größeren Stabilitätsbereich, wobei der Rechenaufwand für letztere sicherlich nicht größer ist.

Zusammenfassung

Zur Stabilisierung von Systemen mit I-Anteilen durch Ausgangsrückführung wird auf einen Vorschlag von *Lunze* und *Davison* zurückgegriffen. Dazu wird eine Methodik für eine exakte Stabilitätsanalyse vorgeschlagen. Ausgehend davon werden verschiedene hinreichende Abschätzungen angegeben, die einen geringeren Rechenaufwand erfordern.
An einem einfachen Beispiel wird das Vorgehen illustriert.
Abschließend möchte der Verfasser Herrn Dr. *J. Uhlig* für die fördernden Hinweise und Diskussionen danken.

Literatur

[1] *Lunze, J.:* Determination of stabilizing output feedback matrices to initiate optimal control procedures. Elektronische Informationsverarbeitung und Kybernetik (in Vorbereitung).
[2] *Zurmühl, R.:* Matrizen. Westberlin: Springer-Verlag 1964.
[3] *Martin, K.; Küßner, K.; Haak, B.; Haufe, B.:* Programmdokumentation zum Programmpaket „Entwurf zentraler und dezentraler Regelungen für umfangreiche dynamische Systeme im Zustandsraum". AdW der DDR, ZKI, unveröff. Arbeitsmaterial.
[4] *MacFarlane, A. G. J.:* Relationships between recent developments in linear control theory and classical design techniques. In: *Fallside, F.* (Hrsg.): Control system design by pole-zero assignment. London: Academic Press 1977.
[5] *Küßner, K.; Martin, K.:* Übersicht über numerische Verfahren zum Entwurf von optimalen Regelungen im Zustandsraum. msr, Berlin **25** (1982) H. 6, S. 306–310.
[6] *Davison, E. J.:* The systematic design of control system for large multivariable time-invariant systems. Automatica **9** (1973), S. 441–452.

msr 7627

Prof. Dr.-Ing. habil. *W. Sauer*, Dresden[1])

Einfluß der Meßunschärfe auf die Regressionsfunktion

1. Regressionsfunktion bei der Analyse technologischer Prozesse

Bei der Analyse technologischer Prozesse wird die Abhängigkeit einer Kenngröße Y von einer anderen Kenngröße X (Einflußgröße) oft durch die Regressionsfunktion angegeben. Man ermittelt N Punkte (x_n, y_n) mit $n = 1, 2, \ldots, N$ und berechnet daraus beispielsweise im Falle eines linearen Zusammenhanges die Gerade (Bild)

$$y = \bar{y} + a \cdot (x - \bar{x}) \tag{1}$$

mit den beiden Mittelwerten $\bar{x}$ und $\bar{y}$;

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=1}^{N} x_n \tag{2}$$

und

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=1}^{N} y_n \tag{3}$$

und demAnstieg a

$$a = \frac{s_{xy}}{s_x^2} = r \cdot \frac{s_y}{s_x}. \tag{4}$$

Dabei berechnet man die beiden empirischen Streuungen s_x^2 und s_y^2 zu

$$s_x^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{n=1}^{N} (x_n - \bar{x})^2 \tag{5}$$

und

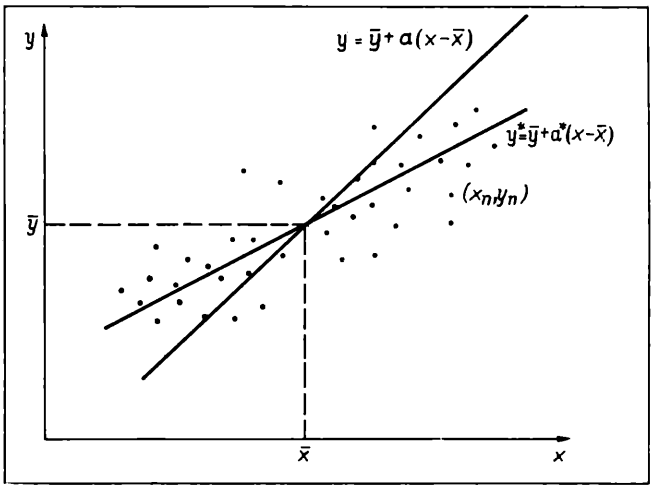
$$s_y^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{n=1}^{N} (y_n - y)^2 . \tag{6}$$

Die empirische Kovarianz s_{xy} ergibt sich zu

$$s_{xy} = \frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^{N} (x_n - \bar{x}) \cdot (y_n - \bar{y}) \tag{7}$$

[1]) Mitteilung aus der TU Dresden, Sektion Elektronik-Technologie und Feingerätetechnik.

Bild 1. „Ideale" und „reale" Regressionsgerade



und für den empirischen Korrelationskoeffizienten gilt

$$r = \frac{s_{xy}}{s_x \cdot s_y}. \tag{8}$$

In Gl. (1) ist y als ein Mittelwert interpretierbar, der von x abhängt, daher schreibt man gelegentlich auch Gl. (1) folgendermaßen

$$y = \bar{y}(x) = \bar{y} + \frac{s_{xy}}{s_x^2}(x - \bar{x}) = \bar{y} + r \cdot \frac{s_y}{s_x} \cdot (x - \bar{x}) . \tag{9}$$

Diese Methode wird bekanntlich als empirische lineare Regression bezeichnet.

Der empirischen Regression entspricht nun auch eine theoretische Regression. Die beiden Kenngrößen X und Y werden als Zufallsgrößen interpretiert und besitzen die zweidimensionale Wahrscheinlichkeitsdichte $f(x, y)$. Die (theoretische) Regression gibt nun den Erwartungswert von Y für jeden Wert der Zufallsgröße X, d. h. den bedingten Erwartungswert $E\{Y \mid x\}$, an [1]:

$$\mu_y(x) = E\{Y \mid x\} = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} y \cdot f(x, y)\, dy}{\int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y)\, dy} = \int_{-\infty}^{+\infty} y \cdot \frac{f(x, y)}{f_y(x)}\, dy . \tag{10}$$

Die Wahrscheinlichkeitsdichte $f_y(x)$ heißt Randdichte. Für den Sonderfall, daß $f(x, y)$ eine zweidimensionale Normalverteilung ist, erhält man die lineare Regression, wie man leicht zeigen kann.

Aus

$$\varphi(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-\varrho^2}} \times \mathrm{e}^{-\frac{1}{2\cdot(1-\varrho^2)}\left[\left(\frac{x-\mu_x}{\sigma_x}\right)^2 - 2\varrho\frac{x-\mu_x}{\sigma_x}\frac{y-\mu_y}{\sigma_y} + \left(\frac{y-\mu_y}{\sigma_y}\right)^2\right]} \tag{11}$$

erhält man die Randverteilung [2]

$$\varphi_y(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\cdot\sigma_x} \cdot \mathrm{e}^{-\frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2}} = \varphi(x; \mu_x, \sigma_x^2) \tag{12}$$

und damit für die Regressionsfunktion

$$\mu_y(x) = \mu_y + \varrho \cdot \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \cdot (x - \mu_x) = \mu_y + \alpha \cdot (x - \mu_x) . \tag{13}$$

Gl. (13) steht in enger Beziehung zu den Gln. (1) bzw. (9), wenn man die empirischen Parameter als Schätzwerte für die theoretischen Parameter ansieht:

$$\bar{x} = \hat{\mu}_x \qquad s_x^2 = \hat{\sigma}_x^2 \qquad s_{xy} = \hat{\sigma}_{xy} \qquad a = \hat{\alpha},$$
$$\bar{y} = \hat{\mu}_y \qquad s_y^2 = \hat{\sigma}_y^2 \qquad r = \hat{\varrho} .$$

Bisher wurde davon ausgegangen, daß durch den Meßprozeß selbst keine Veränderungen der Werte entstehen, daß also die Punkte (x_n, y_n) lediglich das stochastische Verhalten des technologischen Prozesses repräsentieren.

Daher sollen die bisher betrachteten Regressionsfunktionen als „ideal" bezeichnet werden; sie setzen einen idealen Meßprozeß voraus.

2. Die „reale" Regressionsfunktion

Jeder reale Meßprozeß ist mit Unschärfen behaftet, die dazu führen, daß die durch die Messung ermittelten Werte mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit von den Prozeßwerten abweichen können.

Bezeichnet man die allein vom Meßprozeß hervorgerufenen stochastischen Abweichungen ebenfalls mit X und Y, so ist es i. allg. möglich, die Unschärfen des Meßprozesses durch die sog. „Meßcharakteristik" $g(x, y)$ mit

$$g(x, y) = g_1(x) \cdot g_2(y) \tag{14}$$

zu beschreiben. $g(x, y)$ ist die Wahrscheinlichkeitsdichte für die Abweichung eines beliebigen Punktes.

Aus Gl. (14) sind zwei Voraussetzungen ersichtlich:

1. Die Meßunschärfen hängen nicht vom Wert des technologischen Prozesses, d. h. vom zu messenden Wert ab, oder anders gesagt: unabhängig von der Lage des Punktes (x_n, y_n) tritt stets die gleiche Meßunschärfe auf.
2. Die Meßunschärfe für X ist unabhängig von der Meßunschärfe für Y.

Diese zwei Voraussetzungen sind bei Meßprozessen weitestgehend erfüllt.

Der Gesamtprozeß, der aus technologischem Prozeß und Meßprozeß besteht, besitzt nun die zweidimensionale Wahrscheinlichkeitsdichte

$$f^*(x, y) = f(x, y) * g(x, y) \tag{15}$$

mit der zweidimensionalen Faltungsoperation

$$f(x, y) * g(x, y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x', y') \cdot g(x - x', y - y')\, dx'\, dy' . \tag{16}$$

Die Regression $\mu_y^*(x)$ für den Gesamtprozeß erhält man durch

$$\mu_y^*(x) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} y \cdot f^*(x, y)\, dy}{\int_{-\infty}^{+\infty} f^*(x, y)\, dy} . \tag{17}$$

Man kann nun leicht eine Verknüpfung von Gl. (10) mit Gl. (17) erreichen, indem man beispielsweise die jeweiligen Integrale mit Laplace-Transformation berechnet [3]

$$\mathfrak{L}\{f(x, y)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y) \cdot e^{-qy}\, dy = F(x, q) , \tag{18}$$

$$\mathfrak{L}\{g(x, y)\} = g_1(x) \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} g_2(y) \cdot e^{-qy}\, dy = g_1(x) \cdot G_2(q) , \tag{19}$$

$$\mathfrak{L}\{f^*(x, y)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} f^*(x, y) \cdot e^{-qy}\, dy = F^*(x, q) . \tag{20}$$

Dabei ist q ein komplexer Parameter.

$F(x, q)$, $G_2(q)$ und $F^*(x, q)$ sind komplexe Funktionen im sog. Bildbereich oder q-Bereich (wobei noch F bzw. F^* parametrisch von x abhängen). Demgegenüber spricht man von einem sog. y-Bereich, wenn man z. B. die Funktion $g_2(y)$ meint.

Bekanntlich wird eine Faltung von Funktionen im y-Bereich, wie sie in den Gln. (15) bzw. (16) erscheint, in eine Multiplikation der Laplace-Transformierten im q-Bereich abgebildet. Das ist der sog. Faltungssatz.

Damit errechnet man

$$F^*(x, q) = F(x, q) * [g_1(x) \cdot G_2(q)] . \tag{21}$$

Die Faltungsoperation bezieht sich dabei auf die Variable x.

Weiterhin erhält man aus Gl. (18) durch Grenzwertbildung

$$\lim_{q \to 0} \{F(x, q)\} = F(x, q)|_{q=0} = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y)\, dy = f_Y(x) , \tag{22}$$

was den Nenner von Gl. (10) ergibt. Ebenso erhält man den Nenner von Gl. (17) aus Gl. (20) und (21) durch Grenzwertbildung:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f^*(x, y)\, dy = F(x, q) * [g_1(x) \cdot G_2(q)]|_{q=0} . \tag{23}$$

Den Zähler von Gl. (10) erhält man, wenn Gl. (18) nach q differenziert und danach der Grenzwert $q \to 0$ gebildet wird:

$$-\int_{-\infty}^{+\infty} y \cdot f(x, y)\, dy = \frac{\partial}{\partial q} \{F(x, q)\}|_{q=0} . \tag{24}$$

Ebenso erhält man aus Gl. (20) den Zähler von Gl. (17) zu

$$-\int_{-\infty}^{+\infty} y \cdot f^*(x, y)\, dy = \frac{\partial}{\partial q} \{F(x, q) * [g_1(x) \cdot G_2(q)]\}|_{q=0} . \tag{25}$$

Damit ergeben sich für die Regressionsfunktion ohne Meßunschärfe

$$\mu_y(x) = -\left. \frac{\frac{\partial}{\partial q} \{F(x, q)\}}{F(x, q)} \right|_{q=0} \tag{26}$$

und für die Regressionsfunktion mit Meßunschärfe

$$\mu_y(x) = -\left. \frac{\frac{\partial}{\partial q} \{F(x, q) * [g_1(x) \cdot G_2(q)]\}}{F(x, q) * [g_1(x) \cdot G_2(q)]} \right|_{q=0} = -\left. \frac{\frac{\partial}{\partial q} \{F(x, q)\} * g_1(x)}{F(x, q) * g_1(x)} \right|_{q=0} , \tag{27}$$

da

$$\frac{\partial}{\partial q} \{G_2(q)\}|_{q=0} = -\int_{-\infty}^{+\infty} y \cdot g_2(y)\, dy = 0 \tag{28}$$

gilt, wenn der Meßprozeß keinen „systematischen" Fehler für die Kenngröße Y aufweisen soll.

Durch die Verknüpfung von Gl. (26) und Gl. (27) folgt schließlich mit Gl. (22)

$$\mu_y^*(x) = \frac{[\mu_y(x) \cdot f_y(x)] * g_1(x)}{f_y(x) * g_1(x)} . \tag{29}$$

Man sieht, daß die Meßunsicherheit $g_2(y)$ in diese Regression nicht eingeht, was auch plausibel ist, wenn die Aussage Gl. (28) gilt. Dieser Zusammenhang zwischen „idealer" und „realer" Regression gilt ganz allgemein. Man sieht auch, daß im Fall einer idealen Messung, d. h. wenn $g_1(x) = \delta(x)$ ist, Gleichheit zwischen idealer und realer Regressionsfunktion herrscht (da allgemein gilt $f(x) * \delta(x) = f(x)$) [3]. Analog zu Gl. (29) ergibt sich für die Regression von X auf Y

$$\mu_x^*(y) = \frac{[\mu_x(y) \cdot f_x(y)] * g_2(y)}{f_x(y) * g_2(y)} . \tag{30}$$

3. Regressionsfunktion für normalverteilten technologischen Prozeß und normalverteilten Meßprozeß

Für den technologischen Prozeß gelten die Gln. (11) und (12) und damit die ideale Regression Gl. (13).

Der Meßprozeß für X habe die normalverteilte Meßcharakteristik

$$g_1(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_x'} \cdot e^{-\frac{x^2}{2 \cdot \sigma_x'^2}} = \varphi(x; 0, \sigma_x'^2) . \tag{31}$$

Damit folgt aus Gl. (29)

$$\mu_y^*(x) = \frac{\left[\left(\mu_y + \varrho \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \cdot [x - \mu_x]\right) \cdot \varphi(x; \mu_x, \sigma_x^2)\right] * \varphi(x; 0, \sigma_x'^2)}{\varphi(x; \mu_x, \sigma_x^2) * \varphi(x; 0, \sigma_x'^2)} =$$

$$= \mu_y + \varrho \cdot \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \cdot \frac{[(x - \mu_x) \cdot \varphi(x; \mu_x, \sigma_x^2)] * \varphi(x; 0, \sigma'^2_x)}{\varphi(x; \mu_x, \sigma_x^2) * \varphi(x; 0, \sigma_x'^2)}. \tag{32}$$

Setzt man in Gl. (32) noch ein

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}x}\{L(x; \mu_x, \sigma_x^2)\} = -\frac{x - \mu_x}{\sigma_x^2} \cdot \varphi(x; \mu_x, \sigma_x^2) \tag{33}$$

und die Beziehung

$$\frac{\mathrm{d}f_1(x)}{\mathrm{d}x} * f_2(x) = f_1(x) * \frac{\mathrm{d}f_2(x)}{\mathrm{d}x} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}x}\{f_1(x) * f_2(x)\}, \tag{34}$$

so erhält man

$$\mu_y(x) = \mu_y + \varrho \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y \cdot \frac{\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}x}[\varphi(x; \mu_x, \sigma_x^2) * \varphi(x; 0, \sigma_x'^2)]}{\varphi(x; \mu_x, \sigma_x^2) * \varphi(x; 0, \sigma_x'^2)}. \tag{35}$$

Mit

$$\varphi(x; \mu_1, \sigma_1^2) * \varphi(x; \mu_2, \sigma_2^2) = \varphi(x; (\mu_1 + \mu_2), [\sigma_1^2 + \sigma_2^2]), \tag{36}$$

(was sich leicht mit der Laplace-Transformation beweisen läßt) folgt aus Gl. (34) schließlich

$$\mu_y^*(k) = \mu_y + \varrho \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y \cdot \frac{x - \mu_x}{\sigma_x^2 + \sigma_x'^2}$$

$$= \mu_y + \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x^2 + \sigma_x'^2}(x - \mu_x), \tag{37}$$

(Bild).

Damit ist aufgezeigt, daß durch die Meßunschärfe die reale Regressionsgerade einen geringeren Anstieg aufweist als die Regressionsgerade ohne Meßunschärfe.

Es läßt sich mit Hilfe von Gl. (37) und bei Kenntnis der Streuung des Meßgerätes und der Kovarianz auch die ideale Regressionsgerade angeben.

Mit den verwendeten Methoden läßt sich noch zeigen:

Der technologische Prozeß ist durch folgende 5 Parameter im Falle der Normalverteilung vollständig (und sonst approximativ) charakterisierbar: μ_x, μ_y, σ_x^2, σ_y^2, σ_{xy}.

Entsprechendes gilt im empirischen Fall: $\bar{x}$, $\bar{y}$, s_x^2, s_y^2, s_{xy}. Der Meßprozeß ist im Falle der Normalverteilung vollständig (und sonst approximativ) charakterisierbar: $\mu_x' = 0$, $\mu_y' = 0$, $\sigma_x'^2$, $\sigma_y'^2$, $\sigma_{xy}' = 0$.

Damit errechnen sich für den Gesamtprozeß, der durch Faltung der für den technologischen Prozeß und den Meßprozeß geltenden Dichten beschreibbar ist, folgende 5 Parameter.

$$\mu_x^* = \mu_x; \quad \mu_y^* = \mu_y; \quad \sigma_x^{*2} = \sigma_x^2 + \sigma_x'^2;$$

$$\sigma_y^{*2} = \sigma_y^2 + \sigma_y'^2; \quad \sigma_{xy}^* = \sigma_{xy}.$$

Der Beweis ist ebenfalls mit der Laplace-Transformation durchführbar. Schreibt man formal für den Gesamtprozeß die lineare Regressionsfunktion auf, so entsteht ebenfalls Gl. (37).

Literatur

[1] *Fisz, M.*: Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematische Statistik. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1973.

[2] *Rasch, D.*: Elementare Einführung in die mathematische Statistik. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1968.

[3] *Doetsch, G.*: Handbuch der Laplace-Transformation. Band I. Basel/Stuttgart: Verlag Birkhäuser 1950.

msr 7622

Dipl.-Ing. *E. Liß*, Karl-Marx-Stadt

Logische Systeme zum strukturellen Speichern und lerntypischen Verwerten von Wissen

IA. 1.1.7

0. Einleitung

Die interdisziplinäre Forschungsrichtung Künstliche Intelligenz gewinnt zunehmend an Bedeutung für die Entwicklung von informationsverarbeitenden Systemen mit intelligentem Verhalten [1] und [17]. Durch moderne Technologien der Mikroelektronik werden immer besser die Voraussetzungen für die technische Modellierung von intelligenten logischen Strukturen geschaffen. Neuere Forschungsergebnisse der Psychophysiologie und Neurobiologie bilden die Basis für kybernetische Gehirnmodelle. Ein besonderes Phänomen ist das „denkende Gedächtnis", welches sowohl Speicher- als auch Verarbeitungsfunktionen seiner neuronalen Struktur mit dargestelltem Wissen ausdrückt [11]. Aufgrund seiner Lernfähigkeit kann es durch situationsabhängige Konditionierungen (Koinzidenzbedingung [2] [3.4] und [3.7] bis [3.10]) während der Informationsverarbeitung seine „logische" Struktur modifizieren und erweitern, woraus Funktions- und Verhaltensänderungen und erworbene Kenntnisse (Wissenszuwachs) resultieren [7] und [12]. Die kybernetische Umsetzung von psychophysiologischen Erkenntnissen ermöglicht die seit langem angestrebte Entwicklung von adaptiven Prozeß-, Maschinen- und Robotersteuerungen mit künstlichem Intellekt [2] und auch von Beratungseinheiten zur intelligenten Entscheidungsfindung [13]. Vom Autor in [3] definierte Intelligente Automaten speichern in ihren logischen Strukturen das Wissen für die Hauptprozesse eines Intelligenten Automaten: Erkennen, Beurteilen, Bewerten und Entscheiden. Sie modellieren das lernfähige Gedächtnis besonders hinsichtlich seines Mehrfunktionscharakters [11]. Intelligente Automaten basieren auf vielfältig realisierbaren logischen Systemen zum strukturellen Speichern und lerntypischen Verwerten von Wissen für intelligente Entscheidungen. Ihre logische Struktur zum Darstellen von Wissen ist auf die vom Autor in [6] definierte Grundstruktur kausaler Begriffsnetze $\boldsymbol{S} = (\boldsymbol{I}, \boldsymbol{R})$ zurückführbar. Sie wird durch verknüpfte Invarianten $c_u \in \boldsymbol{I}$ zur Informationsdarstellung gekennzeichnet und ist als Zusammenhangsgraph [9] mit Knoten für die verifizierbaren Invarianten c_u; $u = 1, \ldots, M$, und Kanten für die Grundrelationen $r_l \in \boldsymbol{R}$; $l = 1, \ldots, Q$, darstellbar (Bild 1). Die Grundrelationen der logischen Struktur $\boldsymbol{S}$ sind in konjunkte, disjunkte und antivalente Kausalitätsbeziehungen bezüglich der Invarianten c_u für konjunktive, disjunktive bzw. alternative Begriffe klassifizierbar. Sie definieren die logischen Verknüpfungen für die Verifikation der Invarianten c_u z. B. als Symbole, Zeichen, Worte, Signalwerte oder Signalwertsätze, deren semantische Inhalte den Begriffen als Stützinformationen von Modellen [9] entsprechen. Inhibitorische Beziehungen (analog inhibitorischen Synapsen) verlangen die Negation der Bezugsinvarianten. Sie sind durch exzitatorische Beziehungen zu negierten Invarianten ausdrückbar, die als Nullinvarianten binärer Variabler definiert werden

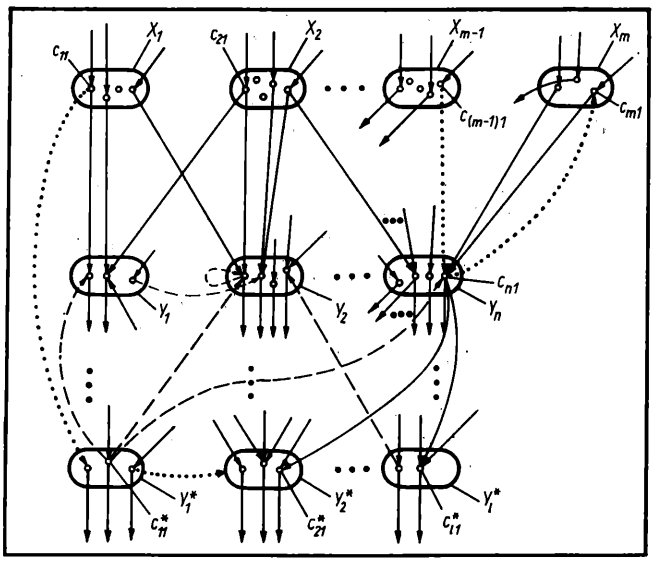


Bild 1. Modifizierbare Struktur eines hierarchischen logischen Systems

Beispiel mit Beziehungen zwischen Invarianten der Mengen $X_1, \ldots, X_m$; $Y_1, \ldots, Y_n, \ldots, Y_1^*, \ldots, Y_l^*$ für die Variablen eines Zuordnungskomplexes (Beziehungen für deduktives Assoziieren sind gestrichelt dargestellt)

--------> aufbaubare bzw. abbaubare Kausalitätsbeziehungen als Voraussetzung für strukturelles Lernen

[6]. Die logische Struktur S kann mit Ausdrücken der Booleschen Algebra für die logischen Funktionen aller verifizierbaren Invarianten formal beschrieben werden. Sie ist in hierarchische Schichten für unterschiedliche Darstellungsstufen mit progressiven Abstraktionsgraden zerlegbar. Zwischen ihnen sind induktive und deduktive Beziehungen (bzw. Assoziationen oder Kopplungen) für logisches Schließen bzw. Assoziieren [8] sowohl fest veranlagt als auch aufbaubar oder abbaubar [3.2] [3.5] und [3.7]. Die Abstraktion in der logischen Struktur ist auf klassifizierende Funktionen der disjunktiven Normalform oder Schwellwertlogik zurückführbar. Diese sind als verallgemeinernde Abbildungen bzw. Operationen mit verknüpften Invarianten algebraisch ausdrückbar und können technisch implementiert werden [2] [3] [6] und [16].

1. Allgemeine Definition eines logischen Systems

Modelle kausaler Begriffsnetze stellen Wissen als begriffsbezogene Kenntnisse dar [9] und [13]. Ihre logische Struktur $S = (I, R)$ setzt verifizierte Invarianten $c_u \in I$ miteinander in Beziehung, die Stützinformationen bzw. Begriffe darstellen. Die Grundrelationen $r_l \in R$ zwischen den verifizierbaren Invarianten c_u entsprechen den strukturell gespeicherten, begriffsbezogenen „Kenntnissen" [6] und [7], die als „anwendbares Wissen" die Funktionen der Struktur S bestimmen.

Man definiert das Modell eines kausalen Begriffsnetzes, das eine gerichtete logische Struktur $S = (I, R)$ hat und durch Verifikation von Invarianten auf hierarchischen Darstellungsstufen ausgewählte Ausgangsinformationen abhängig von seinen Eingangsinformationen darstellt, als „logisches System". Es ist durch Eingänge (Inputs) und Ausgänge (Outputs) für seine Eingangs- bzw. Ausgangsinformationen gekennzeichnet, welche mit prinzipiell allen unterschiedlichen Darstellungsstufen seiner hierarchischen Struktur in Verbindung stehen können. Ein logisches System modelliert einen Wissensspeicher (und im Falle „strukturellen Lernens" auch einen Erfahrungsspeicher), aus dem mit Eingangsdarstellungen (Eingaben) zugeordnete Ausgangsdarstellungen (Ausgaben) abfragbar sind. Sein Speicherinhalt wird durch die feste oder veränderliche logische Struktur S bestimmt. Neben dieser Speicherfunktion ist ein logisches System auch durch seine Verarbeitungsfunktion gekennzeichnet. Als informationsverarbeitendes System verarbeitet es seine Eingangsinformationen durch logische Operationen und transformiert Informationsdarstellungen seiner Eingänge über interne Darstellungen in Ausgangsdarstellungen durch Zuordnungen. Analog dem Kenntniserwerb durch Erfassen von Beziehungen zwischen Begriffen [3.5] [3.7] bis [3.10] [5] und [7] kann ein logisches System während der Informationsverarbeitung seine logische Struktur S ändern, so daß bedingte logische Verknüpfungen und modifizierte Funktionen des Systems resultieren (d. h. „strukturelles Lernen" durch Beziehungsaufbau bzw. -abbau [2] [3.4] bis [3.10] und [6]). Die Grundprozesse des logischen Denkens — Analyse, Synthese, Abstraktion, Verallgemeinerung, Kenntniserwerb und Assoziieren aus Erfahrung [7] — sind in logischen Systemen simulierbar, weil sie auf Zuordnungen von Darstellungen mit Invarianten für Begriffe durch logische Verknüpfungen und strukturelles Lernen (aufgrund konditionierbarer Assoziationen) zurückführbar sind [3.7]. Ein modifizierbares und erweiterbares logisches System mit seinem Mehrfunktionscharakter (Einheit von Speicher und Prozessor) ähnelt strukturell dem „denkenden Gedächtnis" eines Grobmodells des Gehirns (bzw. Zentralnervensystems) und dessen neuronaler lernfähiger Netzstruktur [11] und [12]. Es ist mit lernfähigen Zuordnungskomplexen und Computern als „kognitives System" realisierbar [2] und [3].

Die logische Struktur $S = (I, R)$ eines logischen Systems auf der Basis der endlichen Menge I aller verifizierbaren Invarianten $c_u \in I$; $u = 1, 2, \ldots, M$, hat die endliche, möglicherweise modifizierbare bzw. erweiterbare Menge R aller Grundrelationen $r_l \in R$; $l = 1, 2, \ldots, Q$, bezogen auf ausgewählte Invarianten c_u:

$$R = \{(c_u, c_u) \mid c_u \sigma c_u\} \subset I^2 = I \times I .$$

Satz 1: Die Invariantenmenge I ist in N nichtleere und disjunkte Teilmengen I_v zerlegbar, welche wir als Wertevorräte für N diskrete Systemvariablen b_v definieren, wenn sie N Klassen antivalenter Invarianten c_u darstellen (vgl. Satz 9 und 10 in [6]):

$$I_v \subset I ; \qquad I = \bigcup_{1}^{N} I_v ; \qquad v = 1, 2, \ldots, N ;$$

$$N \leqq 0{,}5\, M \quad \text{(ganzzahlig)} .$$

Satz 2: Man definiert für das logische System die endliche Variablenmenge V, deren Elemente alle N Systemvariablen b_v der Konfiguration $(b_1, b_2, \ldots, b_N)$ sind:

$$V = \{b_1, b_2, \ldots, b_N\}; \quad b_v \in V; \qquad v = 1, 2, \ldots, N .$$

Satz 3: Jede Systemvariable b_v repräsentiert mindestens zwei antivalente Werte c_{vq} ihres Wertevorrats I_v:

$$I_v = \{c_{v0}, c_{v1}, \ldots, c_{vN_v}\}; \qquad c_{vq} \in I_v;$$

$$q = 0, 1, \ldots, N_v \geqq 1 ,$$

welche den antivalenten Invarianten c_{vq} der Klasse $b_v = [c_{vq}]$ entsprechen (z. B. den Zeichen eines Alphabets) und zu Zeitpunkten τ verifiziert werden:

$$b_v(\tau) = c_{vq}; \qquad c_{v0} \neq c_{v1} \neq \ldots \neq c_{vN_v};$$

$$q = 0, 1, \ldots, N_v .$$

Satz 4: Für die Konfiguration $(b_1, b_2, \ldots, b_N)$ aller Systemvariablen b_v definieren wir den Situationsvektor $\dot{s}$ des logischen Systems, welcher als Komponenten die verifizierten Werte der Systemvariablen b_v enthält:

$$\dot{s}(\tau) = (c_{1q}, c_{2q}, \ldots, c_{vq}, \ldots, c_{Nq}); \qquad q = 0, 1, \ldots, N_v .$$

Satz 5: Wir definierten die aktuelle Situation des logischen Systems, d. h. das verifizierte Wertetupel des Situationsvektors $\dot{s}$ zum Zeitpunkt τ, als die Systemformation $\dot{s}_0$. Sie ist als ein Element der endlichen Situationsmenge T ausdrückbar, welche alle antivalenten Wertetupel $\dot{s}_0$ des Situationsvektors $\dot{s}$ enthält:

$$\dot{s}_0 \in T; \qquad o = 0, 1, \ldots, N_s ;$$

$$T = I_1 \times I_2 \times \ldots \times I_N = \{(c_{1q}, c_{2q}, \ldots, c_{Nq}) \mid c_{vq} \in I_v;$$

$$v = 1, 2, \ldots, N\} .$$

Die Situationsmenge $\boldsymbol{T}$ kann in Teilmengen für besondere Klassen von Systemformationen $\dot{s}_0$ zerlegt werden, z. B. durch die klassifizierende Beurteilung und/oder Bewertung der einzelnen Situationen des logischen Systems [2] [3.1] und [3.7].

Satz 6: Die Variablenmenge $\boldsymbol{V}$ des logischen Systems ist in nichtleere disjunkte Teilmengen für Eingangs- und Ausgangsvariablen und möglicherweise innere Variablen zerlegbar. Die Eingangsvariablen b_e, $e = 1, 2, \ldots, N_e$, sind den N_e Eingängen (Eingabekanälen-Inputs) und die Ausgangsvariablen b_a, $a = 1, 2, \ldots, N_a$, den N_a Ausgängen (Ausgabekanälen-Outputs) des logischen Systems zugeordnet. Die inneren Variablen b_k, $k = 1, 2, \ldots, N_k$, sind solche Systemvariablen, welche mit Eingangs- und Ausgangsvariablen nicht identisch sind:

$$\boldsymbol{V} = \bigcup_1^N b_v = \bigcup_1^{N_e} b_e \cup \bigcup_1^{N_k} b_k \cup \bigcup_1^{N_a} b_a;$$

$$\boldsymbol{I} = \bigcup_1^N \boldsymbol{I}_v = \bigcup_1^{N_e} \boldsymbol{I}_e \cup \bigcup_1^{N_k} \boldsymbol{I}_k \cup \bigcup_1^{N_a} \boldsymbol{I}_a .$$

Satz 7: Ein logisches System ist als ein Netz verknüpfter Systemvariablen b_v darstellbar, welches in hierarchische Darstellungsstufen einzelner Variablenkonfigurationen zerlegt werden kann, zu denen sowohl Eingangs- als auch Ausgangsvariablen, verteilt über prinzipiell alle Darstellungsstufen, gehören können (Bild 1).

Satz 8: Prinzipiell ist eine Systemvariable b_v sowohl mit sich selbst als auch mit allen anderen Systemvariablen $b_v \in \boldsymbol{V}$ logisch verknüpfbar, so daß sie als Funktion von diesen Variablen definiert werden kann. Abhängig von den in die Verknüpfung einbezogenen Invarianten c_{vq} der Systemvariablen b_v, $v = 1, 2, \ldots, N$ ist eine Invariante $c_{vq} \in \boldsymbol{I}_v$, $q = 0, 1, \ldots, N_v$, der betreffenden Variable b_v durch eine logische Operation zu einem Zeitpunkt τ verifizierbar (vgl. Abschnitt 2.).

Satz 9: Ein logisches System ist in modulare logische Teilsysteme zerlegbar, z. B. in elementare Teilsysteme zur Invariantenbildung für einzelne Systemvariablen b_v. Sie sind durch abstrakte Mealy-Automaten [18] beschreibbar und können als Zuordnungseinheiten und -niveaus (Bild 2) für Zuordnungskomplexe wie in [2] und [3] (besonders [3.2] und [3.7]) definiert werden.

Satz 10: Wenn ein logisches System nicht rückwirkungsfrei ist, d. h. wenn seine logische Struktur $\boldsymbol{S}$ mindestens eine deduktive Beziehung, z. B. als reflektorische oder symmetrische „rückkoppelnde" Beziehung, enthält [6], sind alternative Systemzustände unterscheidbar, die durch verschiedene Fälle der Informationsspeicherung (d. h. Aufrechterhaltung der Verifikation von Invarianten und Verlängerung des Bestehens ihrer Information in einem gewissen Zeitintervall, analog dem Gegenwarts- oder Kurzzeitgedächtnis) gekennzeichnet sind. Mehrere Systemzustände können als verifizierbare Werte einer Zustandsvariablen z ausgedrückt werden.

Über den Systemzustand (Wert der Zustandsvariablen z) geht die Vorgeschichte in die aktuelle Situation, d. h. die Systemformation $\dot{s}_0$, eines logischen Systems mit Rückwirkungen ein. Durch die Kurzspeicherung von vorher dargestellten Informationen im System (z. B. Bekräftigung verifizierter Invarianten infolge deduktiven Assoziierens über Rückkopplungen von inneren oder Ausgangsvariablen) kann das logische System sequentielle Signalwerte (bzw. Folgen von Eingangsinformationen) seiner Eingänge im Zusammenhang (d. h., im Kontext) dekodieren und verarbeiten, d. h. Eingabefolgen „verstehen" und assoziierte Voraussagen bekräftigen.

Satz 11: Ein logisches System läßt sich durch mindestens einen abstrakten Mealy-Automaten grob modellieren, wenn mit seinen Eingangs- und Ausgangsvariablen die Input- und Outputmenge und zusätzlich die Zustandsmenge wie folgt definiert werden:

- Eingangsdarstellung:
$$\boldsymbol{x} = (b_1, b_2, \ldots, b_e, \ldots, b_{N_e}) = [\dot{x}_f] ,$$
- Eingangsformation:
$$\dot{\boldsymbol{x}}(\tau) = x_f = (c_1, c_2, \ldots, c_{N_e})_f \in \boldsymbol{X}; \qquad f = 0, 1, \ldots, N_x ,$$
- Inputmenge $\boldsymbol{X}$ als Kreuzprodukt der Inputwertevorräte $\boldsymbol{I}_e$:
$$\boldsymbol{X} = \boldsymbol{I}_1 \times \boldsymbol{I}_2 \times \ldots \times \boldsymbol{I}_{N_e} = \\ = \{(c_1, \ldots, c_{N_e}) \mid c_e \in \boldsymbol{I}_e; \qquad e = 1, 2, \ldots, N_e\} ,$$
- Ausgangsdarstellung:
$$\boldsymbol{y} = (b_1, b_2, \ldots, b_a, \ldots, b_{N_a}) = [\dot{y}_g] ,$$
- Ausgangsformation:
$$\boldsymbol{y}(\tau) = \dot{y}_g = (c_1, c_2, \ldots, c_{N_a})_g \in \boldsymbol{Y}; \qquad g = 0, 1, \ldots, N_y ,$$
- Outputmenge $\boldsymbol{Y}$ als Kreuzprodukt der Outputwertevorräte $\boldsymbol{I}_a$:
$$\boldsymbol{Y} = \boldsymbol{I}_1 \times \boldsymbol{I}_2 \times \ldots \times \boldsymbol{I}_{N_a} = \\ = \{(c_1, \ldots, c_{N_a}) \mid c_a \in \boldsymbol{I}_a, a = 1, 2, \ldots, N_a\} ,$$
- Zustandsvariable: z, deren Werte die Elemente der Zustandsmenge $\boldsymbol{Z}$ sind.

Für den determinierten abstrakten Automaten $(\boldsymbol{X}, \boldsymbol{Y}, \boldsymbol{Z}, \boldsymbol{f}, \boldsymbol{g})$ gelten dann die Überführungsfunktion $\boldsymbol{f}$

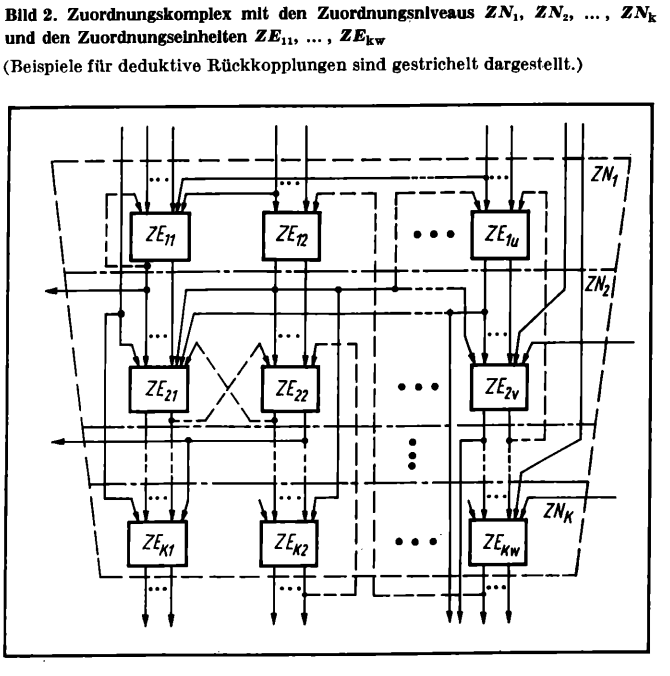
$$\boldsymbol{f}: \boldsymbol{X} \times \boldsymbol{Z} \to \boldsymbol{Z} \quad \text{und} \quad z(\tau + 1) = \boldsymbol{f}(\boldsymbol{x}(\tau), z(\tau))$$

und die Ergebnisfunktion $\boldsymbol{g}$

$$\boldsymbol{g}: \boldsymbol{X} \times \boldsymbol{Z} \to \boldsymbol{Y} \quad \text{und} \quad \boldsymbol{y}(\tau) = \boldsymbol{g}(\boldsymbol{x}(\tau), z(\tau)) .$$

Der „lernfähige" Automat kann durch konditionierte Strukturänderungen seine Funktionen modifizieren und aufgrund des Kenntniserwerbs (strukturelles Lernen) sein gespeichertes Wissen erweitern.

Bild 2. Zuordnungskomplex mit den Zuordnungsniveaus ZN_1, ZN_2, ..., ZN_K und den Zuordnungseinheiten ZE_{11}, ..., ZE_{Kw}
(Beispiele für deduktive Rückkopplungen sind gestrichelt dargestellt.)



2. Thesen zur funktionalen Analyse und Synthese modifizierbarer logischer Systeme

Die Modellierung und Realisierung definierter logischer Systeme zur strukturellen Speicherung und Darstellung von Wissen sind nur dann durchführbar, wenn Wege und Methoden zur funktionalen Analyse und Synthese modifizierbarer logischer Systeme gefunden werden, die rationelle Entwürfe und Simulationen ermöglichen. Folgende Thesen sollen hierzu eine erste Basis für Schlußfolgerungen sein.

These 1: Die logische Struktur $\boldsymbol{S} = (\boldsymbol{I}, \boldsymbol{R})$ eines logischen Systems zur Darstellung von Wissen ist mit der Syntax einer

Sprache [19] und formal mit der algebraischen Struktur S_a ausdrückbar [6] und [10]:

$$S_a = (I, F_1, F_2, \dots, F_N) = (I, F); \qquad F_v \in F;$$
$$v = 1, 2, \dots, N,$$

d. h. mit der Invariantenmenge I und den $\alpha(v)$-stelligen algebraischen Operationen F_v, welche auf I definiert sind und den Wertzuweisungen für die Systemvariablen b_v entsprechen (vgl. Satz 1 in Abschnitt 1.):

$$F_v: I_1 \times I_2 \times \dots \times I_{\alpha(v)} \to I_v; \qquad \alpha(v) = 1, 2, \dots, N;$$
$$I_v \subset I.$$

Folgerung 1: Der Vergleich von $S = (I, R)$ und $S_a = (I, F)$ zeigt, daß die Menge aller Grundrelationen $R = \{r_1, r_2, \dots, r_Q\}$ der Menge aller algebraischen Operationen $F = \{F_1, F_2, \dots, F_N\}$ äquivalent ist:

$$R \sim F.$$

Deshalb beschreiben die algebraischen Operationen F_v die logischen Operationen des logischen Systems entsprechend den Grundrelationen $r_l \in R$.

These 2: Die logischen Operationen eines modifizierten logischen Systems, d. h. eines Systems mit geänderter bzw. erweiterter logischer Struktur $S = (I, R)$, entsprechen solchen logischen Verknüpfungen der Systemvariablen b_v:

$$b_v = [c_{vq}]; \qquad c_{vq} \in I_v \subset I; \qquad q = 0, 1, \dots, N_v,$$

welche zu einem Teil fest veranlagt (unbedingte Verknüpfungen) und zum anderen Teil durch mindestens eine Konditionierung situationsabhängig geändert oder ausgebildet worden sind („gelernte" bedingte Verknüpfungen). Die änderbaren Verknüpfungen beruhen auf festen und „lernbaren" (d. h. aufbaubaren bzw. abbaubaren) Kausalitätsbeziehungen $r_l \in R$ der logischen Struktur S des Systems [6].

Folgerung 2: Die unbedingten und bedingten logischen Verknüpfungen (ausgedrückt durch algebraische Operationen F_v bzw. Wertzuweisungen für die Systemvariablen b_v) definieren die festen und modifizierten Funktionen F_v des logischen Systems:

$$F_v = f(b_1, b_2, \dots, b_{\alpha(v)}) = b_v; \qquad v = 1, 2, \dots, N.$$

Jede Systemvariable b_v ist die Funktion F_v von solchen $\alpha(v)$ Systemvariablen b_v, welche in die logische Verknüpfung zur Verifikation der Invarianten c_{vq} der betreffenden Variable b_v über einzelne Grundrelationen $r_l \in R$ der logischen Struktur S einbezogen sind.

These 3: Wenn alle verifizierbaren Invarianten $c_u \in I$ der logischen Struktur $S = (I, R)$ als binäre Variablen aufgefaßt werden [6], dann ist jede verifizierte Invariante c_u die logische Funktion L_u von solchen $\beta(u)$ Invarianten c_u, welche die Verifikation der betreffenden Invariante c_u durch von ihnen ausgehende Grundrelationen $r_l \in R$ beeinflussen, weil sie zum Definitionsbereich der logischen Funktion L_u gehören:

$$L_u = f_L(c_1, c_2, \dots, c_{\beta(u)}) = c_u; \qquad u = 1, 2, \dots, M;$$
$$L_u \in L = \{L_1, L_2, \dots, L_M\}; \qquad \beta(u) = 1, 2, \dots, M;$$
$$M \geqq 2N.$$

Folgerung 3: Weil jede verifizierte Invariante c_u dem wahren Wert (z. B. 1) einer Booleschen Variablen und jede negierte Invariante $\bar{c}_u$ dem inversen Wert (z. B. 0) der betreffenden Booleschen Variablen gleichsetzbar ist, sind die logischen Funktionen L_u auch Boolesche Funktionen. Sie werden mit Ausdrücken der Booleschen Algebra A für logische Basisfunktionen analytisch definiert (vgl. Satz 1 in [6]).

These 4: Die logische Struktur $S = (I, R)$ eines logischen Systems zur Darstellung von Wissen ist mit der algebraischen Struktur S_A durch Boolesche Funktionen L_u der zweiwertigen Logik (Boolesche Algebra A) ausdrückbar (vgl. Thesen 1 und 3):

$$S_A = (I, L_1, L_2, \dots, L_M) = (I, L); \qquad L_u \in L;$$
$$u = 1, 2, \dots, M,$$

d. h. mit der Invariantenmenge I und Ausdrücken für die logischen Funktionen L_u der Invarianten c_u aller mehrwertigen Systemvariablen b_v, $v = 1, 2, \dots, N$.

Folgerung 4: Der Vergleich von $S = (I, R)$ und $S_A = (I, L)$ zeigt, daß die Menge aller Grundrelationen $R = \{r_1, r_2, \dots, r_Q\}$ der Menge aller logischen Funktionen $L = \{L_1, L_2, \dots, L_M\}$ äquivalent ist:

$$R \sim L.$$

Die Grundrelationen $r_l \in R$ werden mit Ausdrücken für logische Funktionen $L_u \in L$ hinreichend definiert [6].

These 5: Alle Funktionen F_v eines logischen Systems mit binären oder mehrwertigen Systemvariablen b_v, $v = 1, 2, \dots, N$, sind auf logische Funktionen L_u zurückführbar, welche nach Folgerung 3 als Boolesche Funktionen für alle verifizierbaren Invarianten c_u, $u = 1, 2, \dots, M$, ausgedrückt werden können, so daß die Menge aller Funktionen (ausgedrückt durch logische Operationen, vgl. These 2) $F = \{F_1, F_2, \dots, F_N\}$ der Menge aller logischen Funktionen $L = \{L_1, L_2, \dots, L_M\}$ äquivalent ist und These 4 und Folgerung 4 bestätigt werden:

$$R \sim F \sim L, \qquad F_v \in F, \qquad L_u \in L.$$

Für ausschließlich binäre Systemvariable b_v, $v = 1, 2, \dots, N$, gilt $M = 2N$. Dann hat jede der N Variablen b_v eine logische Funktion L_v ihres wahren Wertes und eine negierte logische Funktion $\bar{L}_v$ ihres inversen Wertes (Nullinvariante):

$$L_v \in L, \qquad \bar{L}_v \in L, \qquad L = \{L_1, \dots, L_N\} \cup \{\bar{L}_1, \dots, \bar{L}_N\}.$$

Folgerung 5: Die Funktionen logischer Systeme zur strukturellen Speicherung und Verwertung von Wissen, welche die algorithmische Modellierung von Denkprozessen für intelligentes Verhalten ermöglichen, sind auf Ausdrücke der zweiwertigen Logik zurückführbar und können analytisch, beschränkt auf die Verifikation einzelner Invarianten $c_u \in I$, auch für kompliziert verknüpfte mehrwertige Variablen b_v hinreichend definiert werden.

Die These 5 steht im Einklang mit dem universellen Prinzip der Turingmaschine [15] und der auf logischen Funktionen basierenden algorithmischen Steuerung von Computern, Booleschen Prozessoren [3.7] und Prozessen. Die algorithmische Modellierbarkeit intelligenter Aktivitäten und die Darstellbarkeit von Wissen sind mit programmierbaren Computern oder Zuordnungskomplexen auf der Basis der zweiwertigen Logik prinzipiell gewährleistet [1] bis [3] und [13] bis [17].

These 6: Die Änderung und Erweiterung der logischen Struktur $S = (I, R)$ eines modifizierbaren logischen Systems erfolgt durch das Aufbauen und/oder Abbauen mindestens einer Grundrelation $r_l \in R$ mit dem Resultat der Vergrößerung bzw. Verkleinerung der Relationsmenge R und möglicherweise der Invariantenmenge I (infolge der Einbeziehung oder Absonderung von Invarianten $c_u \in I$ in bzw. aus der logischen Struktur S).

Folgerung 6: Die Strukturänderung nach These 6 (d. h. „strukturelles Lernen" [2] und [3.7] bis [3.10]) ist gleichbedeutend mit der Funktionsänderung des logischen Systems, weil nach Folgerung 1 und 4 nicht nur die Relationsmenge R, sondern auch die Menge F aller Funktionen F_v und auch die äquivalente Menge L aller logischen Funktionen L_u modifiziert werden. Durch den Aufbau bzw. Abbau mindestens einer Kausalitätsbeziehung $r_l \in R$ kann die logische Funktion L_u einer einzelnen Invariante $c_u \in I$ entweder verändert oder in die Menge L neu aufgenom-

men bzw. aus ihr entfernt werden (entsprechend der strukturellen Einbeziehung oder Absonderung der betreffenden Invariante c_u für einen neugebildeten bzw. vergessenen Begriff).

These 7: Die Ausbildung der „erfahrungsgemäß" geänderten bzw. erweiterten logischen Struktur $S = (I, R)$ eines modifizierbaren logischen Systems durch mindestens eine Konditionierung während der Informationsverarbeitung im logischen System ist der Grundprozeß für das Lernen des logischen Systems. Die nach Folgerung 6 resultierende Funktionsänderung des logischen Systems wird durch mindestens eine bedingte logische Verknüpfung (vgl. These 2) definiert, welche mit bedingten Zuordnungen [4] von Informationsdarstellungen ausdrückbar ist [2] und [3].

Folgerung 7: Die Funktionsänderung eines modifizierbaren logischen Systems ist auf bedingte logische Operationen aufgrund von Strukturänderungen des logischen Systems zurückführbar [3.1]. Sie entspricht der Änderung des strukturell gespeicherten Wissens des logischen Systems, z. B. durch „Kenntniserwerb" und Gewinnung von „Erfahrung" im Lernprozeß [3.4] bis [3.10].

Die technische Implementierung von bedingten logischen Operationen (bzw. Verknüpfungen) in modifizierbaren, d. h. „lernfähigen", logischen Systemen ist praktizierbar, z. B. mit konditioniert gespeicherten Bedingungs- oder Merkbits als situationsabhängig erworbene Kenntnisse von relativen Relationen (z. B. für bedingte Sprünge in Programmen). Bedingte Verknüpfungen sind mit Konnexionssignalen bestimmbar, die durch Konditionierungen unter der Koinzidenzbedingung gebildet werden, so daß ausgewählte Verbindungen als „konditionierbare Assoziationen" für „lernbare" Kausalitätsbeziehungen zwischen Invarianten der logischen Struktur S entweder hergestellt oder zerstört werden [6] (strukturelles Lernen). Die aufbaubaren und abbaubaren Beziehungen können durch selektierbare latente bzw. veränderbare Kopplungen (Assoziationen) implementiert werden [2] [3.2] bis [3.10]. Als „Erfahrungsspeicher" für erworbene Kenntnisse sind assoziative Kopplungsmatrizen [3.8], lernfähige Zuordner [3.9] und [3.10], konventionelle Speicher und Assoziativspeicher [2] und [16] in Verbindung mit Hardware- oder Softwareimplementierungen der logischen Funktionen nutzbar.

Zusammenfassung

Logische Systeme zum strukturellen Speichern und Verwerten von Wissen sind durch die Einheit von Speicher- und Verarbeitungsfunktion analog dem „denkenden Gedächtnis" gekennzeichnet. Ihre logische Struktur wird mit der Grundstruktur kausaler Begriffsnetze $S = (I, R)$ zum Darstellen von Wissen definiert [6]. Zwischen den verifizierbaren Invarianten $c_u \in I$ hierarchischer Darstellungsstufen mit unterschiedlichen Abstraktionsgraden sind induktive und deduktive Kausalitätsbeziehungen $r_l \in R \subset I^2$ sowohl fest veranlagt als auch durch Konditionierungen während der Informationsverarbeitung aufbaubar bzw. abbaubar, so daß durch „strukturelles Lernen" Kenntnisse erworben werden können (Wissenszuwachs) [2] und [3.7]. Die endliche Menge R aller Grundrelationen der „lernfähigen" Struktur S ist modifizierbar und erweiterbar, wodurch die logische Struktur S geändert werden kann. Eine situationsabhängig konditionierte Strukturänderung (gespeicherte Erfahrung) äußert sich in geänderten Funktionen des logischen Systems, analog der für das Lernen charakteristischen Verhaltensänderung [12]. Das Lernen des Systems beruht auf der Änderung seines strukturell gespeicherten Wissens (z. B. im Erfahrungsspeicher) und dessen Verwertung aufgrund solcher bedingter Verknüpfungen bzw. bedingter Zuordnungen, welche aus mindestens einer konditionierten Struktur- und Funktionsänderung des logischen Systems resultieren und charakteristisch für strukturelles Lernen sind.

Die logische Struktur eines lernfähigen Systems ist mit modifizierbaren algebraischen Strukturen und deren Operationen bzw. Funktionen ausdrückbar. Die „vernetzten" Funktionen der binären oder mehrwertigen Systemvariablen logischer Systeme können zum Zwecke der algorithmischen Modellierung von Denkprozessen für intelligentes Verhalten sowohl mit sprachlichen Ausdrücken (z. B. „wenn — dann"-Ausdrücken [1] oder bedingten Ausdrücken der Programmiersprache LISP [19]) als auch mit algebraischen Ausdrücken (z. B. der Booleschen Algebra für die zweiwertige Logik) analytisch definiert werden. Logische Systeme sind in netzartig verkoppelte, modulare Teilsysteme (z. B. für Funktionskomplexe Intelligenter Automaten [3]) zerlegbar. Sie können als Mealy-Automaten beschrieben und als lernfähige Zuordnungskomplexe (Bilder 1 und 2) mit modifizierbaren Logikeinheiten, „lernenden" Zuordnen, assoziativen Erfahrungsspeichern oder Computern (z. B. Assoziations- und Datenflußcomputern) implementiert werden [2] [3] [13] [14] und [16].

Die Modellierung intelligenter logischer Strukturen mit der Fähigkeit zum strukturellen Lernen und Assoziieren aus Erfahrung (z. B. von Voraussagen erster und zweiter Art [3.7]) erfordert verstärkte interdisziplinäre Forschung. Sie verspricht die Entwicklung neuartiger Automaten mit künstlichem Intellekt, z. B. für Robotersteuerungen der dritten Generation [1] [2] und [17].

Literatur

[1] *Fischer, G.; Kling, U.:* Die Erforschung kognitiver Phänomene — zum Stellenwert der Arbeiten von *Herbert A. Simon* für die Informatik. Angewandte Informatik **22** (1980) H. 6, S. 215–223.
[2] *Liß, E.:* Lernender Homöostat zur Demonstration adaptiver Steuerungen mit künstlichem Intellekt. msr **25** (1982) H. 9, S. 489–493.
[3] *Liß, E.:* Seit 1978 angemeldete Wirtschaftspatente der Klasse G06F 15/18:
[3.1] WP 145 436 — Automat mit künstlicher Intelligenz.
[3.2] WP 145 338 — Zuordnungskomplex mit Eigenschaften ähnlich der assoziativen Denkweise.
[3.3] WP 140 927 — Modulare Zuordnungseinheit mit Schwellwertlogik.
[3.4] WP 145 810 — Verfahren zur assoziativen Einkopplung von Signalen in einen Übertragungskanal.
[3.5] WP 149 723 — Intelligenter Automat als Grobmodell des Gehirns ohne Bewußtsein.
[3.6] WP 224 629 — Intelligenter Automat mit Adaptionsvermögen.
[3.7] WP 234 948 — Programmierbare Logikanordnung für Intelligente Automaten und adaptive Steuerungen mit künstlichem Intellekt.
[3.8] WP — Assoziative Koppelmatrix zum strukturellen Lernen und Assoziieren aus Erfahrung.
[3.9] WP — Assoziativer Erfahrungsspeicher für Intelligente Automaten.
[3.10] WP — Lernfähiger Zuordner zum assoziativen Klassifizieren und induktiven Lernen.
[4] *Zemanek, H.:* Lernende Automaten. Taschenbuch der Nachrichtenverarbeitung. Hrsg. v. *K. Steinbuch.* Westberlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1967.
[5] *Klix, F.:* Über Ursprünge der menschlichen Intelligenz. Wissenschaft und Fortschritt **27** (1977) H. 11, S. 492 und 493; H. 12, S. 543.
[6] *Liß, E.:* Logische Struktur zum Darstellen von Wissen für Intelligente Automaten. Nachrichtentechnik-Elektronik (eingereicht).
[7] *Rubinstein, S. L.:* Das Denken und die Wege seiner Erforschung. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1977.
[8] *Stachowiak, H.:* Denken und Erkennen im kybernetischen Modell. Westberlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1965.
[9] *Peschel, M.:* Was ist Modellbildung? Wissenschaft und Fortschritt **26** (1976) H. 3, S. 98ff.
[10] *Wunsch, G.:* Systemanalyse. Bd. 3. Digitale Systeme. Berlin: VEB Verlag Technik 1973.
[11] *Sinz, R.:* Neurobiologie und Gedächtnis. Berlin: VEB Verlag Volk und Gesundheit 1979.
[12] *Sinz, R.:* Lernen und Gedächtnis. Berlin: VEB Verlag und Gesundheit: 1980.
[13] *Czaczko, A. G.; Stachovaja, T. M.:* Predstavlenie Znanij i Formirovanie Reshenij v Prakticzeskoj Sisteme Iskustvennogo Intellekta. Kibernetika **17** (1980) H. 4, S. 99–108.
[14] *Chudik, J.:* Architecture of the Hierarchical Data Flow Computer Based on Funktional Memories. In International Conference Artificial Intelligence and Information-Control Systems of Robots. Smolenice: June 30 — July 4, 1980.
[15] *Cherniavsky, V. S.; Konrad, E.:* On Limitations For Algorithmic Modelling of Intellligent Activities. In International Conference Artificial Intelligence and Information-Control Systems of Robots. Smolenice: June 30 — July 4, 1980.
[16] *Fukushima, K.: Miyake, S.;* A Selforganizing Neural Network with a Function of Associative Memory: Feedback-Type Cognitron. Biological Cybernetics **28** (1978), S. 201–208.
[17] *Vollmer, R.:* Maschine — Maß aller Dinge. Die künstliche Intelligenz revolutioniert unsere Werte. Der Gefühlscomputer. Elektronik-Zeitung **19** (1981) H. 13, S. 4; H. 15, S. 20.
[18] *Gössel, M.:* Angewandte Automatentheorie. I. Grundbegriffe. WTB Bd. 116. Berlin: Akademie-Verlag 1972.
[19] *Stoyan, H.:* LISP-Anwendungsgebiete, Grundbegriffe, Geschichte. Berlin: Akademie-Verlag 1980.

msr 7637

Dr. sc. nat. *R. Fülle*, Dipl.-Ing. *B. Hartmann*, Dr.-Ing. *S. Hiekmann* und Dipl-Ing. *G. Pietzsch*, Rossendorf[1])

Automatisierte Energievariation am Tandem-Beschleuniger EGP 10-1 auf der Grundlage eines Prozeßrechnersystems mit verteilter Intelligenz

IA. 4.0.5

0. Einleitung

In physikalischen Experimenten werden zunehmend Klein- und Mikrorechner für

- die Erfassung und Verarbeitung von Meßdaten
- die Steuerung der Meßapparatur zur Herstellung der Meßbedingungen [1] und [2]

eingesetzt.

Bei der Untersuchung von Kernreaktionen an Teilchenbeschleunigern werden die Experimentbedingungen jedoch nicht allein durch Parameter der Apparatur im engeren Sinne, wie Stellung des Targets und der Detektoren, sondern auch entscheidend durch die Parameter des Strahles der beschleunigten Teilchen, insbesondere durch deren Energie, bestimmt.

Zur Messung energieabhängiger Wirkungsquerschnitte $\sigma(E_i)$ in der Kernphysik muß die Einschußenergie E_i schrittweise variiert werden. Ein Meßzyklus zur Bestimmung eines Wertes $\sigma(E_i)$ umfaßt die Operationen

- Einstellung des Wertes E_i der Einschußenergie
- Einstellung und Test von Parametern der Meßapparatur, Löschen von Zählern und Datenfeldern
- Ausführung der Messung einschließlich Erfassung, Vorauswertung und Sortierung der Daten.

Meßaufgaben dieser Art fallen nicht nur in der kernphysikalischen Grundlagenforschung, sondern auch bei der Anwendung nuklearer Methoden in der Festkörperforschung an.

In der bisherigen Experimentierpraxis hatten der Experimentator sowie der Operator am Beschleuniger eine größere Anzahl manueller Steueroperationen auszuführen. Daher lag es nahe, den leicht formalisierbaren Prozeß der Energievariation zu automatisieren.

Im folgenden wird über die automatisierte Energievariation am Rossendorfer Tandem-Beschleuniger EGP 10-1 berichtet. Sie stellt den ersten Schritt zur Zusammenführung der Beschleunigungs- und der physikalischen Meßprozesse zu einem rechnergestützten Gesamtprozeß [2] dar. Neben der Bereitstellung einer Rechnersystemlösung zur Experimentautomatisierung unter Einbeziehung der Mikroelektronik war es das Ziel der Arbeit, Erfahrungen über die Gestaltung eines Rechnersystems mit verteilter Intelligenz zu sammeln.

1. Rechner- und Gerätesystem zur Energievariation

Die rechentechnische Grundlage der automatisierten Energievariation bildet ein Rechnersystem mit verteilter Intelligenz [3] bis [6]. Der Teil des Rechnersystems, der an der Energievariation beteiligt ist, besteht aus

- einem Kleinrechner TPAi zur Ausführung rechnerisch aufwendiger Operationen zur Verarbeitung beschleunigungstechnischer und physikalischer Meßdaten
- einem Mikrorechnersystem MPS 4944 (ZfK Rossendorf), das neben der Energieeinstellung die zyklische Erfassung und Darstellung von Betriebsparametern des Beschleunigers realisiert.

Konfiguration und Prozeßperipherie der Rechner sind im Bild 1 angegeben. Beide Rechner verfügen über eine CAMAC-Peripherie zur Kommunikation mit dem Beschleunigersystem sowie zur Kopplung der Rechner untereinander mit Hilfe von CAMAC-Linkmodulen 1470 [7]. Die Linkmodule ermöglichen eine vom Rechnertyp unabhängige, schnelle Informationsübertragung mit einer Transferrate von $I = 10^5\ s^{-1}$ Worten zu je 16 bit. Der Kleinrechner ist darüber hinaus mit einem direkten, schnellen Datenkanal zum Anschluß von Geräten mit Standard-Interface SI 1.2 ausgerüstet, über den die kernphysikalischen Meßdaten erfaßt werden [1] und [2].

Die Beeinflussung der Teilchenenergie am Beschleuniger erfolgt über die vorhandene Einrichtung zur Energiestabilisierung, die aus zwei Regelkreisen besteht. Der eine Regelkreis stellt nach Vorgabe der Feldstärke eines 90°-Analysermagneten die Beschleunigungsspannung so ein, daß der Teilchenstrahl im Analysermagnet eine definierte Ablenkung erfährt. Der zweite Regelkreis stabilisiert die Feldstärke des Analysermagneten, die als Energienormal dient und mit Kernresonanz gemessen wird. Der Mikrorechner variiert die Sollfrequenz FS dieses Regelkreises entsprechend der gewünschten Energie über die Eingangsspannung U_{CD} einer Kapazitätsdiode. Die Spannung U_{CD} wird von einem Präzisions-Wendelpotentiometer abgegriffen, das von einem Schrittmotor durch den Mikrorechner betätigt wird.

2. Algorithmus der Energievariation

Die einfache Struktur des eingangs beschriebenen Meßzyklus erlaubt, die Energievariation als relativ abgeschlossenen Teilprozeß des Experiments zu gestalten, der unabhängig von den Besonderheiten der jeweiligen physikalischen Meßaufgabe ist, sofern Schnittstellenfestlegungen respektiert werden.

Bild 2 veranschaulicht die Einbettung des Algorithmus der Energievariation in den Gesamtprozeß der Messung. Der Algorithmus berücksichtigt sowohl eine zweckmäßige funktionelle Aufgabenverteilung auf die Rechner als auch die Wirkungsweise des vom Beschleunigerprozeß vorgegebenen Stellgliedes.

Der letzte Aspekt führte dazu, daß alle Operationen der Energievariation sich auf Frequenz- und nicht auf Energiewerte beziehen.

Wie aus Bild 2 ersichtlich, nimmt der Kleinrechner die Eingaben des Experimentators zur Energievariation entgegen, überträgt den einzustellenden Frequenzwert zum Mikrorechner und startet nach Bestätigung der ausgeführten Energievariation das Programm zur Verarbeitung physikalischer Meßdaten. Nach Abarbeitung dieses Programmteils teilt der Kleinrechner dem Mikrorechner den nächsten einzustellenden Frequenzwert mit. Dieser Ablauf wiederholt sich, bis der Grenzwert des vorgegebenen Frequenzbereiches erreicht ist. Diese Folge von Operationen kann sowohl automatisch ablaufen als auch von Hand schrittweise vorgegeben werden.

Der Mikrorechner führt als Hintergrundprozeß die automatische Erfassung von Betriebswerten des Tandemgenerators und deren Darstellung in Symbolbildern auf dem Display [8] aus. Auf Anforderung des Kleinrechners unterbricht er diesen Prozeß und realisiert unabhängig und parallel zu ihm die geforderte Frequenzänderung nach vorgegebener Weite und Richtung.

Die Frequenzänderung vollzieht sich nach einem Punktsuchverfahren durch sukzessive Annäherung der Istfrequenz *FI* an die Sollfrequenz *FS*. Der Einsatz eines Prozeßmodells mit dem Ansatz $FS = F(U_{CD})$ wurde wegen seiner Abhängigkeit vom Arbeitspunkt verworfen, da die Adaption der Modellkonstanten durch aktive Erfassung der Strahlparameter das physikalische Experiment in unzulässiger Weise gestört hätte.

[1]) Mitteilung aus der AdW der DDR, ZfK Rossendorf.

Bild 1. Beschleunigersystem, Meßapparatur und Rechnerverbund

IQ Ionenquellen, B Tandemgenerator, SF-L Strahlführungssystem links, SF-R Strahlführungssystem rechts, AM Ablenkmagnet, R Regler für Magnetstrom, KRM Kernresonanzmeßgerät, FM Frequenzmeßgerät, SM Schrittmotor, MUX (SM) Multiplexer für SM
RG(E) Eingaberegister SI 1.2, MUX(E) Multiplexer, ADC Analog-digital-Konverter, DE Digitaleingabemodul (4 × 24 bit), L Linkmodul 1470, MD Mosaikdrucker, MB Magnetbandmodul, MBG Magnetbandgerät, DPE Displayeinheit 4054, TT Teletype, FPS Festplattenspeicher, SWB Summenwortbildner

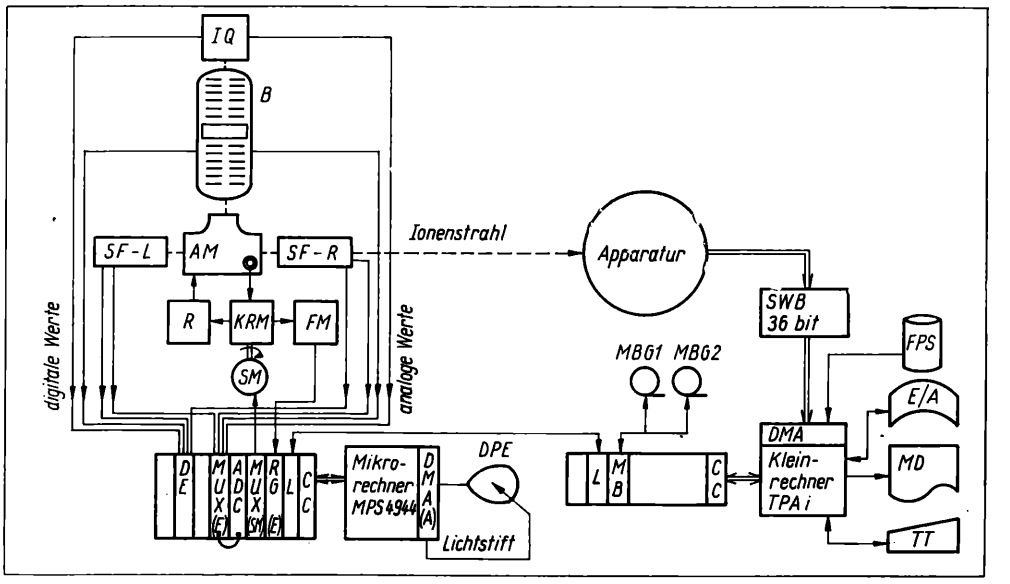
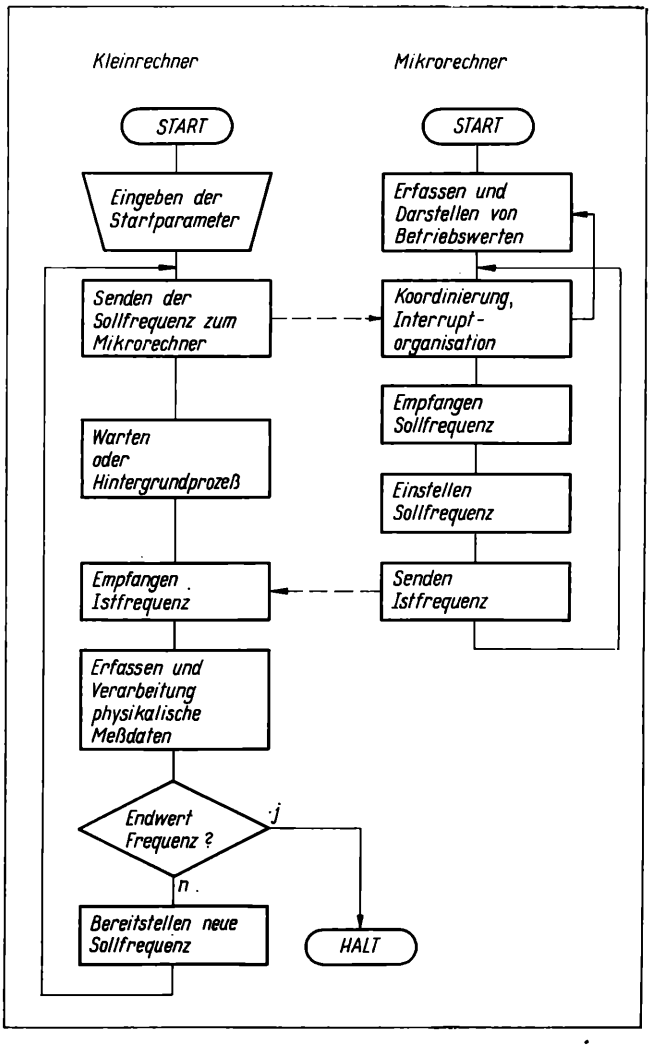


Bild 2. Algorithmus der Energievariation und dessen Eingliederung in den Meßprozeß ▼



Zur Energievariation stehen dem Mikrorechner zwei Betriebsarten, der Schrittbetrieb und der Dauerbetrieb, zur Verfügung. Je nach Größe der Variationsweite setzt er entweder nur eine oder beide ein.

Im Schrittbetrieb wird jeder Schritt vom Mikrorechner ausgelöst und nach dessen Ausführung der sich ergebende Frequenzwert gemessen. Aus dem Vergleich des Istwertes mit dem Sollwert wird die Entscheidung über die Ausführung eines nächsten Schrittes abgeleitet. Liegt der Betrag der Differenz beider Größen innerhalb einer vorgegebenen Schranke, wird die Variation beendet. Die Größe der Schranke beeinflußt die Einstellgenauigkeit und das Oszillieren um den Sollwert.

Der Dauerbetrieb wird vom Mikrorechner nur gestartet und läuft während einer von der Gerätetechnik festgelegten Zeit Δt autonom weiter. Nach der Zeit Δt hält der Schrittmotor an, und der Mikrorechner hat anhand einer Frequenzmessung zu entscheiden, mit welcher Geschwindigkeit der Dauerbetrieb fortgesetzt oder ob zum Schrittbetrieb übergegangen werden kann. Der CAMAC-Modul für die Ansteuerung von Schrittmotoren [9] ermöglicht, daß bei Bedarf mehrere Schrittmotore im Dauerbetrieb parallel arbeiten können.

Im Einsatzfall wurde $\Delta t = 100$ ms gewählt. Während dieser Zeit hat der Mikrorechner bereits die Entscheidung gefällt, wie der Schrittmotor die Veränderung der Frequenz fortsetzen soll. Damit ergibt sich eine kontinuierliche Frequenzänderung.

3. Programme zur Energievariation

3.1. Gestaltungsprinzipien

In Systemen mit verteilter Intelligenz werden Prozesse mit einer bestimmten Anforderungsstruktur jeweils einer Klasse von Rechnern mit angemessenem Leistungsprofil zugeordnet. Im Experiment mit Energievariation realisiert der Mikrorechner die Teilprozesse Energieeinstellung sowie Erfassung und Darstellung von Betriebswerten des Beschleunigers. Der Kleinrechner führt die vorbereitenden Teilprozesse der Energievariation sowie die Erfassung und Verarbeitung der physikalischen Meßdaten aus. Aus einer solchen Verteilung der Prozesse ergeben sich für das Betriebssystem in seiner Gesamtheit eine Reihe von Konsequenzen [10]. So ist der Informationsaustausch zwischen Teilprozessen, die auf verschiedenen Prozessoren realisiert werden, stets mit einer Interprozessorkommunikation verbunden. Das Betriebssystem muß daher neben Modulen für die herkömmliche Interprozeßkommunikation, wie sie in Einrechnersystemen auftritt, auch Komponenten für die Organisation und die Ausführung des Austausches von Synchronisationsinformationen, von Daten und Programmen enthalten. Alle Rechner sind hierbei als gleichberechtigte Kommunikationspartner zu behandeln. Im vorliegenden System übernimmt ein spezieller Handler zur Unterstützung des Linkmoduls die Steuerung der Kommunikationzwischen den Prozessoren.

Da in jedem Prozessor eine gleiche Untermenge von Grundoperationen, wie Laden von Programmen, Bearbeiten von Interrupts, auszuführen sind, müssen die zugehörigen Betriebssystemkomponenten in allen diesen Prozessoren vorhanden sein.

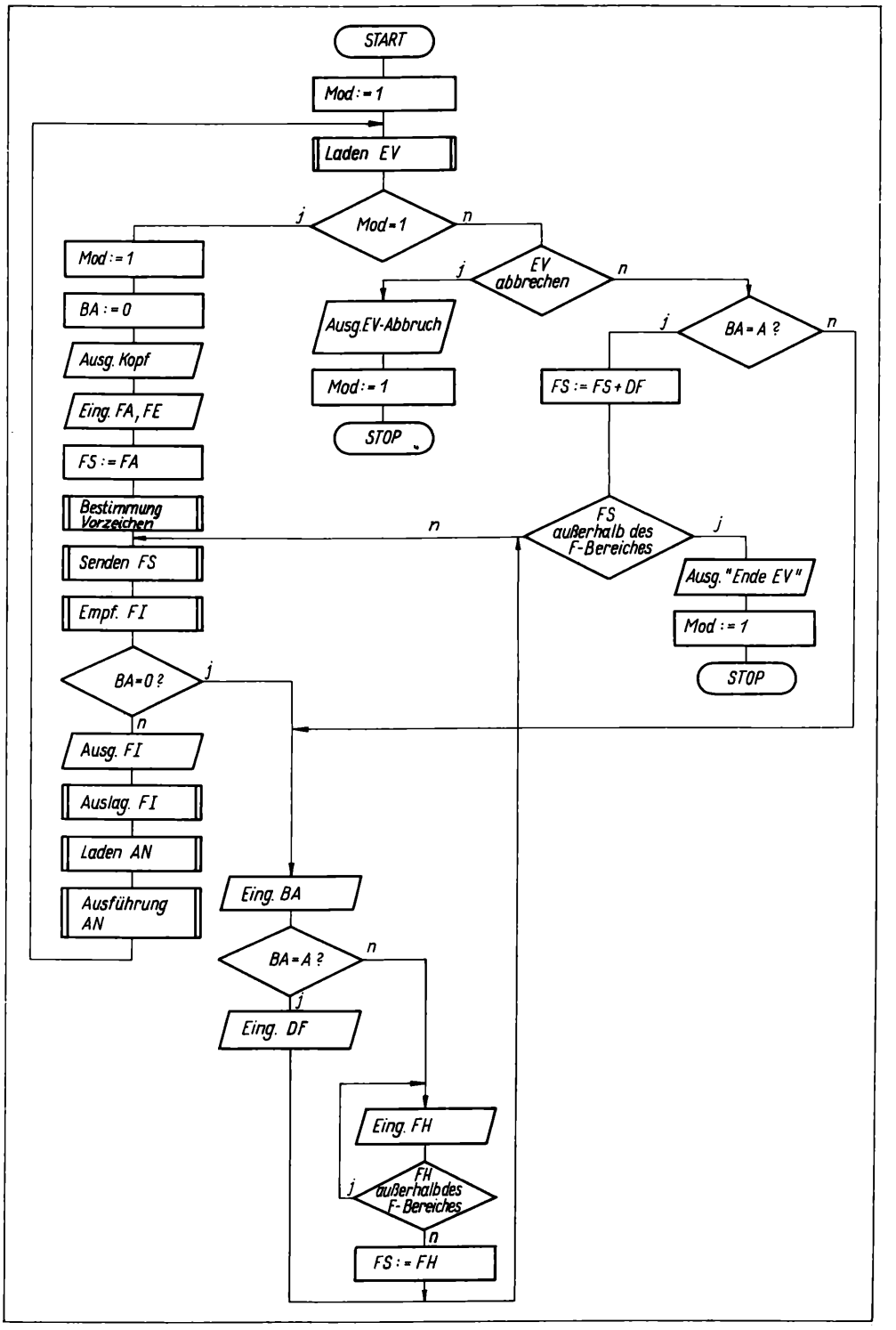


Bild 3. Programmablaufplan des Moduls *EV* für die Vorbereitung der Energievariation durch den Kleinrechner TPA1

3.2. Die Programmkomponenten im Kleinrechner

Im Kleinrechner befinden sich auf der Nutzebene die Programmkomponenten für die Vorbereitung der Energievariation (*EV*) und für die Vielkanalanalyse (*AN*).

Die Module der Komponente *EV* führen die folgenden Teilprozesse aus:

- Aktivierung des Programmes und Eingabe der Parameter: Über den Teletype werden die Anfangsfrequenz *FA*, die Endfrequenz *FE*, die Variationsweite *DF* sowie die Betriebsart *BA* (automatisch oder Steuerung von Hand) erfragt. Hierbei erfolgt eine Prüfung der eingegebenen Werte.
- Aufbereitung der Daten für den Mikrorechner: Die jeweils einzustellenden Frequenzwerte *FS* werden von der Gleitkomma- in die BCD-Darstellung umkodiert.
- Transfersteuerung: Der zugehörige Modul aktiviert den Handler zur Steuerung des Linkmoduls, überträgt den Wert *FS* zum Mikrorechner und nimmt den eingestellten Frequenzwert *FI* entgegen.
- Eintragen und Sichern der Beschleunigerdaten: Die aktuellen Werte der Beschleunigerparameter werden in ein Datenfeld eingetragen und damit für das Programm *AN* bereitgestellt.
- Desaktivierung der Komponente *EV*: Die Programmkomponente *AN* wird geladen und durch das Monitorsystem aktiviert.

Der Programmablaufplan von *EV* ist im Bild 3 wiedergegeben. Arbeitsregime und Durchlauf der Programmpfade werden mit den Größen *BA* bzw. *Mod* gesteuert. Im Anfangszustand, vor der Eingabe der Steuergrößen, gilt $Mod = 1$ und $BA = 0$. Durch die Eingabe $BA := A$ wird die automatische Energie-

variation gewählt. Die Einstellung der Frequenzwerte *FS* erfolgt gemäß einer Laufanweisung, darstellbar (in ALGOL) durch

for *FS*: = *FA* **step** *DF* **until** *FE* **do** SENDEN (*FS*).

Bei Vorgabe *BA*: = *H* (Handbetrieb) hat der Experimentator die zu sendenden und einzustellenden Werte *FS* über den Teletype einzeln mitzuteilen.

Die Programmkomponenten *EV* und *AN* laufen unter dem TPA-Disk-Monitorsystem. Es stellt den Dialog mit dem Experimentator her und ermöglicht den wechselseitigen Aufruf beider Komponenten. *EV* und *AN* sind auf der Magnetplatte gespeichert. Sie nutzen den Arbeitsspeicher des Kleinrechners nach dem Overlay-Prinzip. Ihre wechselseitige Aktivierung geschieht solange, bis ein Grenzwert des Variationsbereiches erreicht ist.

Die Programmkomponenten *EV* und *AN* sind als Module gestaltet und haben den Status von Hauptprogrammen. Der Modul *EV* läßt sich bei Einhaltung von Konventionen des Datentransfers zwischen den Modulen in andere Experimentprogramme einfügen.

Bei Ausfall des Mikrorechners kann eine abgerüstete Variante des Experimentprogrammes vom Magnetband geholt und eingesetzt werden. Die Fortsetzung des Experiments ist dann bei Einstellung der Frequenz von Hand (durch den Operator) möglich.

In Vorbereitung befindet sich eine weitere Variante des Moduls *EV*, in der nicht mehr die geforderten Frequenz-, sondern unmittelbar die einzustellenden Energiewerte durch den Experimentator vorgegeben werden können. Die Berechnung der Frequenzwerte aus den vorgegebenen Energiewerten wird entweder anhand von Tabellen $FS = f(ES)$ und Interpolation oder mit Hilfe analytischer Modellfunktionen erfolgen. Vorgesehen ist ferner eine Störungsauswertung. Der Kleinrechner wird hierbei vom Mikrorechner ein Statusbyte zur Auswertung empfangen und dem Experimentator aufgetretene Störungen des Mikrorechners mitteilen.

3.3. Der Linkhandler

In Systemen mit verteilter Intelligenz müssen zwischen den Prozessoren Synchronisationsinformationen, Module von System- und Nutzerprogrammen (meist im Objektkode) sowie Daten ausgetauscht werden. Im vorliegenden Einsatzfall sind zur Übertragung zwischen den Rechnern beliebige Bitmuster zuzulassen. Damit scheiden zeichenorientierte Übertragungsprozeduren aus. Ferner sind bei kernphysikalischen Experimenten hohe Transferraten ($I \geqq 10^5$ byte/s) anzustreben und die Besonderheiten des CAMAC-Standards zu berücksichtigen.

Für die Belange der Energievariation wurden zunächst der gleichberechtigte, bidirektionale Datentransfer und mit diesem die Prozeßsynchronisation verwirklicht. Bild 4 verdeutlicht die Konvention des Informationsaustausches bei der Datenübertragung. Der Datentransfer erfolgt stets blockweise. Die Übertragung eines Einzelwortes ist als Sonderfall (Blocklänge = 1) enthalten.

Im sogenannten Hand-shake prüft der sendende Rechner zur Eröffnung der Übertragung die Bereitschaft des empfangenden. Er überträgt bei dessen Bereitschaft ein Kennungs-Byte und später die Anzahl der zu übertragenden Daten-Bytes (Blocklänge). Er empfängt als Erwiderung das Signal *S*2, falls Bereitschaft des Empfängers bzw. Übereinstimmung von angemeldeter und erwarteter Kennung oder Blocklänge besteht, im anderen Fall das Signal *S*1. *S*1 und *S*2 sind Programmunterbrechungssignale (LAM-Signale) des CAMAC. Bei positiver Quittung folgt die Blockübertragung. In einem abschließenden Signalaustausch überprüfen beide Rechner die Vollständigkeit der Blockübertragung anhand des Inhaltes der Blockzähler-Zellen. Sie melden sich bei vollständiger Übertragung mit den Signalen *S*2 voneinander ab oder leiten mit dem Senden von *S*1 eine Wiederholung der Blockübertragung bei fehlerhaftem Transfer (max. 7 mal)

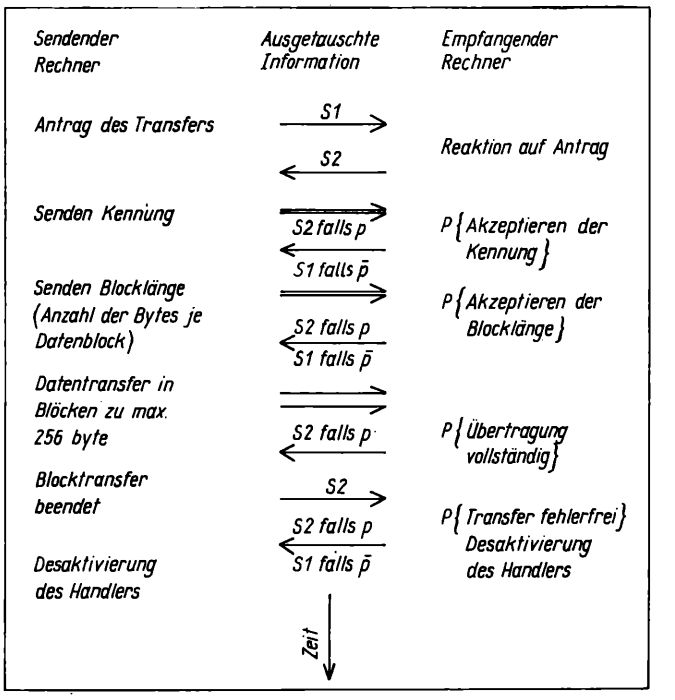


Bild 4. Konvention des Signalaustausches zur Steuerung des Datentransfers mit Hilfe des Linkmoduls

ein. Das Kennungs-Byte spezifiziert den zu übertragenden Datenblock. Es enthält Kennziffern (je drei bit) des sendenden und des empfangenden Teilprozesses sowie ein Fortsetzungsbit, das die Fortsetzung der Übertragung durch einen weiteren Blocktransfer anzeigt und beantragt. Bei einer Blockübertragung können gegenwärtig maximal 256 Daten-Bytes ausgetauscht werden.

Im Programmsystem des Kleinrechners wurde der Link-Handler als Unterprogramm gestaltet und auf der Ebene der prozeßorientierten Nutzerprogramme eingebunden.

3.4. Programmkomponenten im Mikrorechner

Im Mikrorechner befinden sich zwei Programmkomponenten. Sie entsprechen den beiden Teilprozessen

- Erfassung und Darstellung von Betriebswerten des Beschleunigers [8]
- Energieeinstellung.

Die Koordinierung beider Prozesse geschieht durch ein Steuerprogramm, das den Interrupt- und den Link-Handler enthält. Erfassung und Darstellung von Betriebswerten laufen als Hintergrundprozesse. Sie werden bei Anforderung einer Energieänderung durch ein Interrupt vom Link-Handler unterbrochen. Von der Interruptorganisation wird das Teilprogramm Energievariation gestartet, in dessen erstem Teil sich das Unterprogramm Link-Empfang befindet. Nach Übernahme des vom Kleinrechner übermittelten Sollwertes der Frequenz erfolgt der Start des Frequenzzählers und der Rücksprung in die Interruptorganisation, die die Fortsetzung des unterbrochenen Teilprogrammes veranlaßt. Nach 100 ms ist die Zählung der Frequenz beendet, und der Zähler meldet sich über ein Interrupt. Nach Unterbrechung des laufenden Programmes wird der zweite Teil des Programmes Energievariation gestartet. Durch diesen Teil wird die Istfrequenz aus dem Zähler ausgelesen und mit der Sollfrequenz verglichen. Ist die Differenz beider größer als eine von drei Schranken, so wird für den Schrittmotor eine dieser Schranke zugeordnete Betriebsart (Dauerbetrieb mit den Geschwindigkeiten V_1 oder V_2 bzw. Schrittbetrieb) eingeschaltet. Danach erfolgt wieder der Start des Zählers. Diese Schleife wird solange durchlaufen, bis die Differenz von Soll- und Istwert die

kleinste Schranke unterschreitet und der Sollwert als erreicht gilt.
Nunmehr schließt sich der Start des Unterprogrammes Link Senden an, und dem Kleinrechner wird die eingestellte Frequenz mitgeteilt.
Für eine Frequenzänderung um 2 kHz ($\triangleq \approx 2$ keV für Protonen) wurde etwa 1 s benötigt. Diese Zeit entspricht etwa 5% der für die Handsteuerung erforderlichen. Der Speicherplatzbedarf der Programmkomponente Energievariation einschließlich der Unterprogramme für den Link-Transfer und die Erzeugung des Display-Bildes, das während der Energievariation zu sehen ist, beträgt 1,3 K byte. Der Einsatz dieses Programmes ist auch für andere Anwendungen möglich, bei denen ein Wert von einem Schrittmotor verändert und über ein Meßgerät mit BCD-kodiertem Ausgang, wie Digitalvoltmeter, gemessen wird.
Aufgrund des Programmaufbaues ist ein problemloses Zusammenwirken mit anderen Programmkomponenten über die Interruptorganisation möglich.

4. Ergebnisse und Weiterführung der Arbeiten

Die hier vorgestellte Lösung einer automatisierten, rechnergestützten Energievariation wurde bei der Bestimmung von Isobar-Analog-Zuständen mit Hilfe der Reaktion $^{50}Cr(p, p)\,^{50}Cr$ erfolgreich eingesetzt. Entsprechend dem angestrebten Rationalisierungseffekt ließen sich Meßreihen mit insgesamt 250 Einzelmessungen ohne steuernde Eingriffe des Experimentators und des Operators ausführen.
In Vorbereitung befindet sich der wahlweise Anschluß eines weiteren Experimentrechners der Rechnerfamilie PDP 11, um die Energievariation auch für andere Experimentiergruppen, insbesondere für die Anwendung nuklearer Methoden in der Festkörperforschung zu erschließen. Vorgegeben wurden der CAMAC-Linkmodul sowie die im Bild 4 dargestellte Konvention des Hand-shakes, ergänzt durch zeitliche Bedingungen. Die Art der Einbindung des Linkmoduls in das Experimentprogramm steht dem Experimentprogrammierer frei, sofern die Konventionen gemäß Bild 4 eingehalten werden.
In der relativ problemlosen Integration eines Teilprozesses in einen anderen Prozeß zeigt sich ein entscheidender Vorzug von Systemen mit verteilter Intelligenz. Eine Voraussetzung hierfür ist die Definition geeigneter Schnittstellen zwischen den Prozessen und den Prozessoren.

Literatur

[1] *Angermann, H.*, u. a.: Einsatz eines Rechnersystems zur Erfassung und Verarbeitung von Meßdaten bei kernphysikalischen Experimenten im ZfK Rossendorf. Kernenergie **19** (1976) H. 1, S. 26.
[2] *Fülle, R.:* Beiträge zur Gestaltung rechnergestützter Experimente in der Kernphysik. Dissertation B, TU Dresden 1980.
[3] *Hiekmann, S.; Fülle, R.:* Gestaltung eines Rechnersystems zur Automatisierung von Beschleunigern im ZfK Rossendorf. 10. Symposium Kernelektronik. 10. bis 16. April 1980, Dresden.
[4] *Hiekmann, S.; Fülle, R.; Weidhase, F.:* Erste Erfahrungen mit einem flexiblen Mehrrechnersystem. 14. Fachkolloquium Informationstechnik. TU Dresden 3. bis 5. Februar 1981.
[5] *Hiekmann, S.; Fülle, R.:* Gestaltung eines Prozeßrechnersystems mit verteilter Intelligenz. msr **25** (1982) H. 11, S. 621–624.
[6] *Fülle, R.; Hiekmann, S.:* Zum Wandel in der Betrachtung und Gestaltung automatisierter Meßprozesse, dargestellt am Beispiel des kernphysikalischen Experiments. ZfR-Information ZfR – 79.14, S. 205.
[7] *Weidhase, F.*, u. a.: Anwendungsmöglichkeiten und Konzeption des seriellen Link-Moduls 1471. Dresden: TU-Information 05-28-78.
[8] *Pietzsch, G.:* Meßwerterfassung und Darstellung der Meßwerte auf einem Display mit einem Mikrorechner. msr **25** (1982) H. 11, S. 641 und 642.
[9] *Borkenhagen, M.:* CAMAC-Modul für die Ansteuerung eines als Schrittmotor betriebenen Synchronmotors (LSS 5/16). Jahresbericht ZfK 443 (1980) S. 169.
[10] *Linnemann, W.-J.:* Echtzeitbetrieb bei Rechnersystemen mit paritätisch verteilten Betriebssystem. 14. Fachkolloquium Informationstechnik. TU Dresden 3. bis 5. Februar 1981.

msr 7679

Doz. Dr. sc. techn. *G. Blumauer*, Dipl.-Ing. *O. Diederich* und Dipl.-Ing. *U. Haderthauer*, Karl-Marx-Stadt[1])

Rechnerunterstützte Projektierung von Strukturen im Maschinenbau mit Hilfe der grafischen Datenverarbeitung

IA 4.0.5.

0. Einleitung

Moderne periphere Gerätetechnik einer EDV-Anlage, wie interaktive, grafische Dialogsysteme, gewährleisten, die überwiegend grafische Entwurfstätigkeit eines Ingenieurs im Projektierungsprozeß rechnerunterstützt auszuführen. Dies können vorzugsweise aktive, grafische Bildschirme oder Digitalisiergeräte, gekoppelt mit einem passiven Bildschirm, sein. Diese Dialoggeräte eines interaktiven Konstrukteurarbeitsplatzes, verbunden mit einem Klein- oder Großrechner sowie mit Druckern, Hardcopyeinrichtungen und Plottern (Zeichenmaschinen) für die Ausgabe der grafischen und alphanumerischen Dokumente, ermöglichen einen ingenieurgerechten Mensch-Maschine-Dialog [1].
Zur Kommunikation dient vorzugsweise die Menütechnik auf der Basis Licht- oder Funktionstasten und einer alphanumerischen Tastatur [2]. In diesem rechnergeführten Projektierungsprozeß bleibt dem Projektanten die Möglichkeit erhalten, aufgrund seiner Erfahrung, Fähigkeiten und Fertigkeiten intuitiv zu entscheiden. Die Routinetätigkeit, z. B. Skizzieren, Zeichnen, Beschriften, Berechnen, Sichten und Archivieren von Dateien, werden dem Rechner übertragen. Eine anwendungsgerechte Lösungsstrategie und problemorientierte, modular strukturierte Dialogprogramme sind Voraussetzung für kurze Zugriffszeiten zu Bildspeichern, Parameterdateien, Berechnungsmodulen und somit für eine rationelle Abarbeitung der Projektierungsaufgabe. An der Sektion Verarbeitungstechnik der Technischen Hochschule Karl-Marx-Stadt werden Programme unter dem Namen INKO-PRO [3] für verschiedene Gerätetechniken entwickelt, die für eine rechnerunterstützte Projektierung von im Maschinenbau typischen Strukturen vorgesehen sind.

1. Rechnerunterstütztes Projektieren

Die projektierende Arbeitsweise nimmt innerhalb der produktionsvorbereitenden Arbeitsphase im Maschinenbau ständig zu. Projektieren bedeutet hier in der Regel eine Strukturensynthese aus ebenen, symbolisierten Strukturelementen. Meist sind symbolisiert dargestellte Funktions- oder Bauelemente in ihrer funktionellen oder baulichen Verknüpfung in der Ebene abzubilden. Dies können beispielsweise sein: hydro- oder pneumostatische Funktions-, Verkettungs- und Montagepläne, elektrische oder elektronische Schaltpläne, Logik- oder Signalflußpläne, Programmablaufpläne, Topologien oder Schemata, Ma-

[1]) Mitteilung aus der TH Karl-Marx-Stadt, Sektion Verarbeitungstechnik

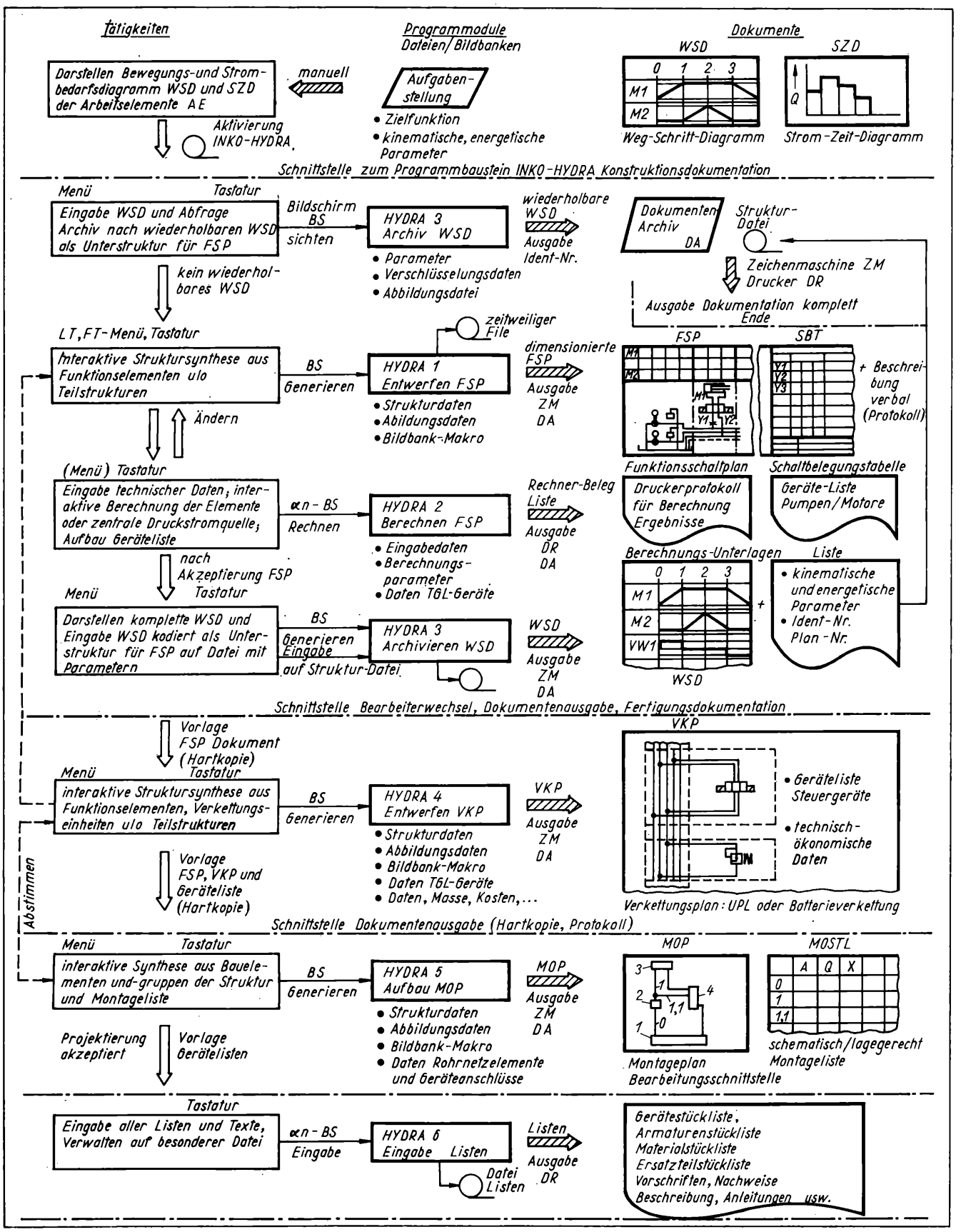


Bild 1. Tätigkeitsetappen zur Dokumentenerarbeitung und -verwaltung mit INKO-HYDRA

schinenaufstellungspläne, Rohr- und Gerätelagepläne verschiedener Art, Anordnungsübersichten und andere ähnliche Strukturen. Diesen ist gemeinsam, daß sie aus symbolisierten, z. T. standardisierten Elementen oder Teilstrukturen zusammenzusetzen und durch frei gestaltbare Linienzüge zu ergänzen oder funktionell zu verknüpfen sind. Listen, beispielsweise Stück-, Geräte-, Bestell- und Montagelisten, sind in den meisten praktischen Anwendungsfällen zusätzlich mit notwendig. Zur rechnerunterstützten Erarbeitung, vorwiegend im alphanumerischen Dialog, sind umfangreiche Dateien typisch. Die Generierung von Strukturen mit großen Elementen- und Parametermengen verlangen einen visuellen Mensch-Maschine-Dialog, der erfahrungsgemäß

am vorteilhaftesten mit den Mitteln der Menütechnik realisierbar ist. Der aktive, grafische Bildschirm ist hierfür ein vorzüglich geeignetes Kommunikationsmittel.
Der Programmbaustein INKO-PRO enthält Dialogprogramme, die Prinziplösungen und auch zum Teil bereits implementierte Module für eine Struktursynthese aus Funktionselementen und/oder Teilstrukturen darstellen. Durch den Einsatz von alternativ wählbaren Teilstrukturen, die analog einer 2D-Modellprojektierung zu einer Gesamtstruktur zusammenfügbar sind, ist ein hoher Grad an Reproduktivität erzielbar.
Als erstes praktisches Anwendungsbeispiel diente der Projektierungsprozeß für hydrostatische Antriebe und Steuerungen.

2. Konzeption der rechnerunterstützten Projektierung hydrostatischer Strukturen

Unter der Bezeichnung INKO-HYDRA [4] bis [6] wurde ein Programmbaustein konzipiert und z. T. für ein aktives, grafisches Bildschirmgerät implementiert, der die rechnerunterstützte Erarbeitung der wichtigsten Dokumente zur Fertigung einer hydrostatischen Anlage ermöglicht.
Ausgehend von einer Analyse des bestehenden praktischen Projektierungsprozesses wurden Bearbeitungsschritte zu Etappen zusammengefaßt, deren rechentechnische Realisierung in Programmodulen ausführbar sind und zugleich den bewährten ingenieurgemäßen Bearbeitungsablauf gewährleisten. Bild 1 zeigt den formalisierten Projektierungsablauf und stellt die Lösungsstrategie für eine rechnergeführte Abarbeitung im Dialog über Bildschirmgeräte mit einer EDV-Anlage dar.
Die definierten Bearbeitungsetappen entsprechen Programmodulen mit Bearbeitungsschnittstellen, die bestimmte Dokumente in der notwendigen Reihenfolge generieren und ausgeben. Die Module sind wahlalternativ aus einem Modulmenü aktivierbar. Die zur Dialoggenerierung notwendigen Routinen sind über entsprechend organisierte Arbeits- und Steuermenüs in den einzelnen Modulen aktivierbar.
Die Nutzung dieses Programmbausteines verlangt eine präzisierte Aufgabenstellung und die Skizze eines Weg-Schritt-Diagramms WSD (Bewegungsablaufplan) der Arbeitselemente sowie des zeitlichen Ölstrombedarfes der Verbraucher (Strom-Zeit-Diagramm).
Im konzipierten Prozeß ist als erste Etappe das Sichten des Archives nach wiederholbaren kompletten Funktionsstrukturen und damit Dokumentationen vorgesehen. Das Sichten der klassifizierten Strukturen soll anhand des dem Funktionsinhalt äquivalenten Weg-Schritt-Diagramms vorgenommen werden. Dieses Diagramm, ergänzt mit den kinematischen und energetischen Parametern, gewährt als Unterstruktur eine schnelle Identifizierung wiederholungsfähiger Funktionsstrukturen. Das bedeutet, die große Datenmenge einer kompletten Funktionsstruktur kann extern gespeichert werden. Das manuell erarbeitete WSD in der ersten Fassung ist kodiert einzugeben. Über den Bildschirm oder ein anderes geeignetes Terminal werden die gespeicherten identischen oder ähnlichen Diagramme zur visuellen Prüfung und Entscheidung auf eventuelle Wiederverwendbarkeit ausgegeben.
Ist eine derartige Struktur nicht auffindbar, muß mit Hilfe des im Modulmenü aktivierbaren Moduls HYDRA 1 eine neue entworfen werden. Die Struktursynthese erfolgt in interaktiver Arbeitsweise, indem die Strukturelemente, Funktionselemente, -gruppen oder Teilstrukturen im Menü mit Lichtstift identifiziert und durch das Lichtkreuz an gewünschter Stelle plaziert werden.
Die logischen Verknüpfungen in Form eines Leitungsnetzes sind ebenfalls interaktiv durch das an den Eckpunkten des Linienzuges positionierte Lichtkreuz auszuführen. Die so auf dem Bildschirm erzeugte Funktionsstruktur wird als Funktionsschaltplan FSP über eine Zeichenmaschine ZM oder Hartkopiereinrichtung ausgegeben und auf einer externen Strukturdatei gespeichert. Die endgültige Ausgabe ist erst nach der rechnerischen Dimensionierung und Anfertigung der Schaltbelegungstabelle SBT zu empfehlen.
Die Berechnungen für den theoretischen Funktionsnachweis und für die Dimensionierung der Strukturelemente mit Hilfe des Moduls HYDRA 2 werden im Regelfall alternierend zum visuellen Entwurf geführt. Dieser Modul ist für die Bestimmung der Struktur und Dimension einer zentralen Druckstromquelle [7] und der einzelnen Elemente konzipiert. Er muß eine Datei für eine Geräteliste mit den Bestellbezeichnungen aller Elemente der Druckstromerzeugung und der Motore haben.
Nach diesen Etappen, d. h. Akzeptieren des entworfenen und statisch berechneten Funktionsschaltplanes, ist mit Hilfe des Moduls HYDRA 3 das komplette Weg-Schritt-Diagramm zu erzeugen und einschließlich der kinematischen sowie energetischen Parameter kodiert in das Archiv (Strukturdatei) einzugeben.
Im allgemeinen tritt nach Abschluß der Erarbeitung der Konstruktionsdokumentation eine Schnittstelle im Bearbeitungsablauf durch Wechsel des Bearbeiters (Spezialisten) auf. Nachdem der Funktionsschaltplan als Kopie (Hardcopy) vorliegt, ist über die Verkettungsart der Steuerventile zu entscheiden. Im gegenwärtigen technischen Entwicklungsstand überwiegt das System Unterplattenverkettung. Die interaktive Erarbeitung des hierfür erforderlichen Verkettungsplanes VKP übernimmt der Modul HYDRA 4 [8] bis [10]. Er gewährleistet die Projektierung der Ventilverkettungsstrukturen aus Einzel-, Mehrfach- und Verkettungsunterplatten. Auch hier kommt die Methode der Struktursynthese aus Teilstrukturen in Form von sogenannten Blöcken (wiederholbare Kombinationen) zur Anwendung (s. Abschn. 2.2.). Als Entscheidungshilfe werden die erforderlichen technischen und ökonomischen Daten der Einheiten beim interaktiven Zusammensetzen der Struktur automatisch mit auf dem Bildschirm ausgegeben. Der Modul verfügt über eine Datei der Bestellbezeichnungen der Steuergeräte für die Ausgabe einer Geräteliste. Der Montageplan MOP (s. Abschn. 2.3.), früher Rohrleitungsplan, stellt im Sinne der TGL 38426 eine Montagezeichnung dar und dient in Verbindung mit der Montageliste MOSTL der Montage hydrostatischer Anlagen [11]. Die interaktive Erarbeitung beider Fertigungsunterlagen mit HYDRA 5 verlangt die Vorlage des FSP und des VKP sowie der Gerätelisten. Dieser Modul muß über eine Datei der Rohrnetzelemente (Armaturen) und Geräteanschlüsse (Gewindeanschlüsse) für Rohrleitungsstutzen verfügen.
Die abschließende Bearbeitungsetappe mit Modul HYDRA 6 ist der Ein- und Ausgabe sowie Verwaltung sämtlicher erforderlicher Stücklisten, Tabellen, Vorschriften, Listen und anderer alphanumerischer Dokumente vorbehalten.

2.1. Entwerfen von Funktionsstrukturen mit INKO-HYDRA 1

Der gegenwärtig für eine CDC 3300-Anlage mit aktivem grafischem Bildschirm [12] implementierte Modul gewährleistet den interaktiven Entwurf von hydrostatischen Funktionsstrukturen. Über eine off-line gesteuerte Zeichenmaschine ist ein kompletter Funktionsschaltplan als Tuschzeichnung ausgebbar [3] bis [6] und [11]. Die Bildspeicher enthalten 146 Funktionselemente und -gruppen (Kombinationen) in symbolisierter Darstellung nach TGL 8672 sowie 32 Teilstrukturen in einheitlichem Format aus dem Grundstrukturenkatalog des VEB WEMA VOGTLAND Plauen. Somit kann im Mensch-Maschine-Dialog ein Plan schrittweise aus Funktionselementen bzw. -gruppen oder aus aufgabenspezifischen, bewährten und wiederholbaren Teilstrukturen analog einer 2D-Modellprojektierung zusammengesetzt werden. Eine praxisgerecht gestaltete Lösungsstrategie sowie kurze Zugriffszeiten zu den Bildspeichern realisieren eine ingenieurgerechte, rechnergeführte Struktursynthese. Programmroutinen wie Plazieren, Linienzug, Löschen, Plazierungskorrektur, Er-

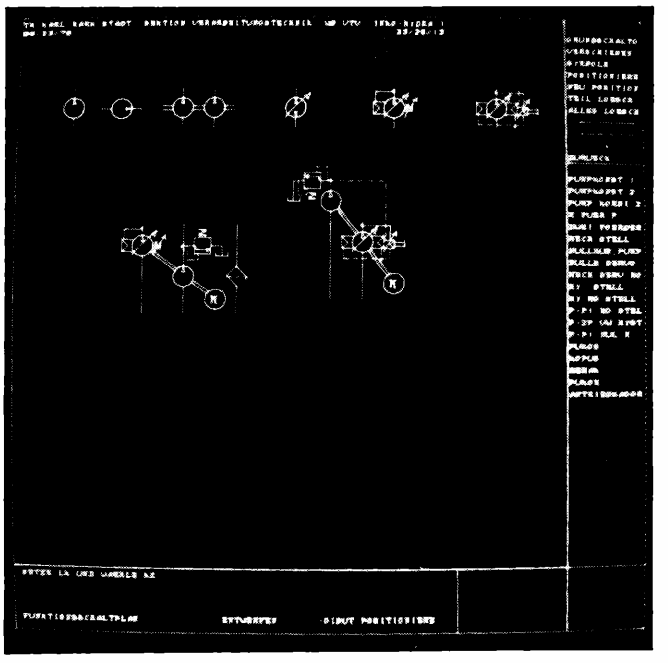


Bild 2. Ausschnitt Bildbank Funktionselemente und -gruppen (Bildschirmfotografie)

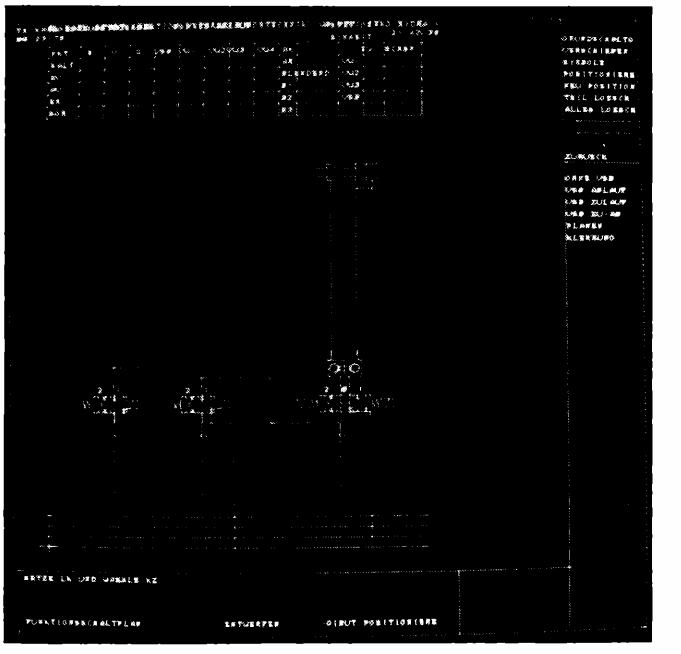


Bild 3. Ausschnitt Bildbank Teilstrukturen (Bildschirmfotografie)

weitern der Arbeitsfläche (Verschieben), Beschriften, Zwischenspeichern und Ausgabe zur Zeichenmaschine ermöglichen einen rationellen Entwurf. Die Reproduktivität und die Minimierung der Routinetätigkeiten garantieren kurze Bearbeitungszeiten. Die Kopplung mit Berechnungsprogrammen, die alternierend mit dem visuellen Entwurf aufrufbar und im Dialog anwendbar konzipiert sind, ergeben eine hohe Produktivität im Projektierungsprozeß.

Bild 2 zeigt einen kleinen Ausschnitt aus der Bildbank für Funktionselemente einer hydrostatischen Funktionsstruktur. Durch das Einfügen anderer Bildbänke, z. B. für die Symbolik pneumostatischer Strukturen, ist der Programmodul für andere technische Disziplinen anwendbar.

Die Bildschirmfotografie (Bild 3) zeigt eine Teilstruktur für eine Vorschubsteuerung aus der Bildbank für Grundstrukturen. Diese Teilstrukturen können aneinandergefügt, geändert, ergänzt und durch interaktiv eingebrachte Leitungszüge in ihrem Funktionsinhalt erweitert werden. Im Bild 4 ist ein aus Elementen schrittweise aufgebauter kleiner Funktionsschaltplan dargestellt.

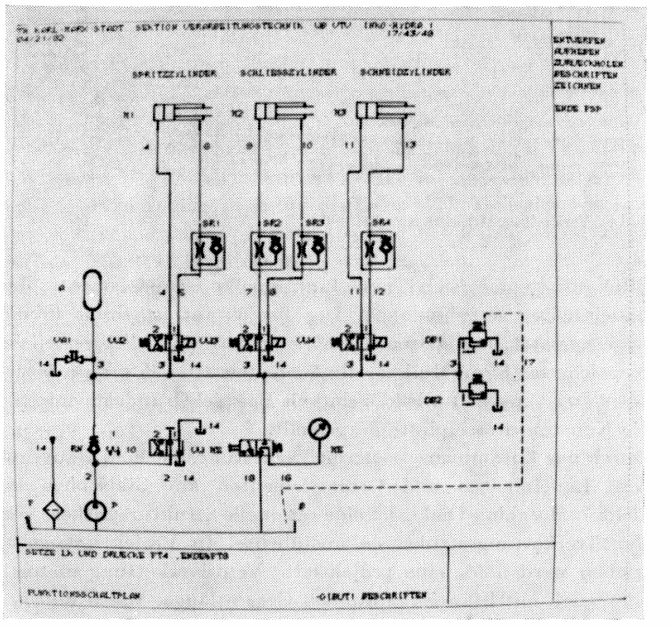


Bild 4. Funktionsschaltplan aus Elementen, interaktiv am Bildschirm generiert

2.2. *Entwerfen von Ventilverkettungsstrukturen mit INKO-HYDRA 4*

Ventilverkettungsstrukturen sind in interaktiver Arbeitsweise am grafischen Bildschirm projektierbar. Das zur Führung des Dialogs entwickelte Menü enthält dabei nur Fachbegriffe des Hydraulikers, die zum Teil den entsprechenden Standards entnommen sind. Die Arbeitsweise wurde neben anderen notwendigen Voraussetzungen in [8] vorgestellt.

Zur rechnerunterstützten Ausführung der Projektierung ist eine umfangreiche Bildbank erforderlich, die rechnerintern abgespeichert ist [9]. Diese Bildbank ermöglicht die Erarbeitung von Ventilverkettungsstrukturen mit Verkettungs- und Einzelplatten und enthält Symbole von Baueinheiten, Baugruppen und Verkettungsblöcken. Baueinheiten sind als Funktionseinheiten einer Ventilverkettungsstruktur definiert. Sie können ein komplettes Ventil oder auch eine Verkettungseinheit darstellen [10]. Baugruppen bestehen aus mindestens zwei Baueinheiten aber höchstens einer Längsverkettungseinheit. Die Verkettungsunterplatte 206 z. B. ist nur zur Aufnahme von Rückschlagventilen vorgesehen. In solchen Fällen ist das Symbol der Verkettungsunterplatte und des Rückschlagventils als Baugruppensymbol in der Bildbank gespeichert.

Ein Verkettungsblock ist eine kombinationsfähige Teilstruktur einer Ventilverkettungsstruktur. Er besteht aus mindestens zwei Baugruppen und stellt eine praxisbewährte Teillösung dar, die statistisch ermittelt wurde. Die Aufnahme spezieller funktionsbedingter Verkettungsblöcke in dieser Bildbank ist vorstellbar. Solche Verkettungsblöcke, die auch unter Verwendung modifizierter Mehrfachunterplatten produziert werden könnten, tragen dann den Charakter von wiederverwendungsfähigen Grundstrukturen [3] und ähneln Modulbausteinen.

Im Ventilbaukasten „p_n 32" gibt es Baueinheiten, die sehr variabel einsetzbar sind, z. B. Wegeventile oder Konstantdrosselplatten. Es ist ökonomisch nicht sinnvoll, alle theoretisch möglichen Varianten dieser Baueinheiten in die Bildbank einzuspeichern. Deshalb wurden die am häufigsten vorkommenden Varianten dieser Baueinheiten ermittelt. Zusätzlich sind in die

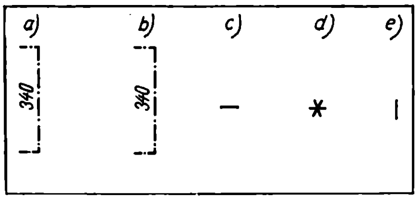


Bild 5. Grundelemente der Konstantdrosselplatte
a) leeres Aufnahmeelement;
b) leeres Aufnahmeelement, gedreht;
c) Durchgang;
d) Blende;
e) Sperrung

(Im Fall Bild 5 b muß die Zahl 340 weiter unten stehen.)

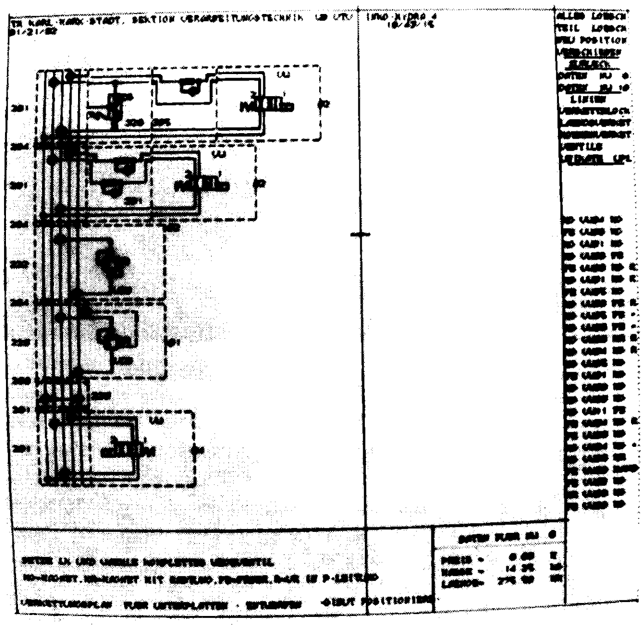


Bild 6. Verkettungsstruktur unvollständig

Bildbank geometrische und funktionelle Grundelemente der Baueinheiten aufgenommen. Der Projektant ist somit in die Lage versetzt, aus diesen Grundelementen ein beliebiges, nicht gespeichertes Symbol dieser Baueinheiten am Bildschirm interaktiv zu erzeugen. Im Bild 5 sind als Beispiel Grundelemente für die Konstantdrosselplatte dargestellt.
Durch das Zusammensetzen von Verkettungsblöcken, Baugruppen, Baueinheiten und Grundelementen am Bildschirm im Mensch-Maschine-Dialog ist eine rationelle Struktursynthese von Ventilverkettungsstrukturen ausführbar. In Projektierungsbetrieben werden für eine projektierte Ventilverkettung manuell oder auch mit Stapelprogrammen Gesamtlänge, Masse und andere technische Daten ermittelt.
Das Dialogprogramm INKO-HYDRA 4 ist so organisiert, daß die benötigten technischen Daten während des Dialogs auf Anforderung oder automatisch zum Bildschirm ausgegeben werden. Vorerst ist die Ausgabe der Masse, der Länge und des Preises vorgesehen. Die Daten für die Massen der Baueinheiten einschließlich der benötigten Schraubverbindungen und der durchschnittlich gebrauchten Einschraubverschraubungen sowie der Längen der Baueinheiten basieren auf Ermittlungen des VEB Industriewerke Karl-Marx-Stadt. Sie sind in der entsprechenden Datei enthalten. Der Projektant wird dadurch während des Projektierungsprozesses ständig über die Summe dieser technischen Daten informiert, wie es im Bild 6 zu sehen ist. Ein Nennweitenwechsel (durch Reduzierplatte) während des Projektierens ist möglich.
Auch der Aufbau der Geräteliste ist mit INKO-HYDRA 4 ohne Nutzung von Standards und Prospekten interaktiv am Bildschirm ausführbar. Dazu ist jedes Baueinheitensymbol, für das eine Gerätebezeichnung in der Geräteliste aufgeführt werden muß, mit einer Schlüssel-Nr. versehen. Nach Aufruf des Gerätelistenmenüs für den entsprechenden Ventiltyp kann die TGL-Bezeichnung in der Geräteliste auf dem Bildschirm dargestellt werden. Im Bild 7 ist dieses Menü für Druckbegrenzungsventile sichtbar. Zu diesem Menü erscheint der Anweisungstext:

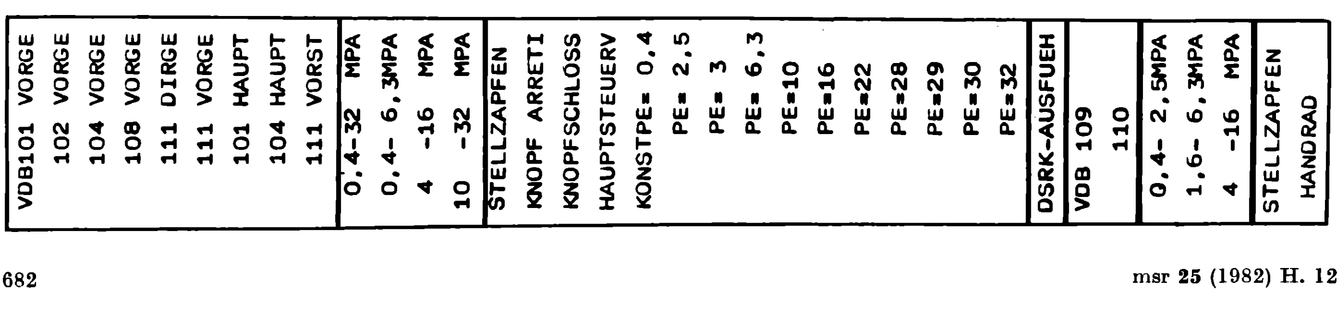
„SETZE LK AUF LINKES KREUZ DER ERSTEN FREIEN ZEILE DER GL UND DRUECKE LT VDB-NR (DIREKT-, VORGESTEUERT; HAUPT-, VORSTEUERVEN), DRUCKBEREICH, STELLEINRICHTUNG, IM BEDARFSFALL AUSFUEHRUNG".

Führt der Projektant diese Bedienhandlungen aus, erscheint die vollständige Ventilbezeichnung einschließlich der TGL-Nr. in der Geräteliste. Zu diesem Zeitpunkt werden auch die technischen Daten des Ventils selbständig aus der Datei abgerufen und zu der auf dem Bildschirm dargestellten Summe der technischen Daten addiert. Dies ist notwendig, da erst mit der Festlegung des Ventils Aussagen z. B. zur Masse und zum Preis getroffen werden können. Die Numerierung des Ventils entsprechend dem Funktionsschaltplan sowie die Eintragung des Nenndruckes und des Nennvolumenstromes in die Geräteliste kann der Projektant mit Hilfe der Manipulationsroutine „BESCHRIFTEN" unter Verwendung von Rollkugel, Funktions- und alphanumerischer Tastatur vornehmen.
Nach dem Zurücksprung in das Hauptmenü (siehe [8]) wird durch Initiieren der Lichttaste „ZEICHNEN" der Verkettungsplan einschließlich der kompletten Geräteliste zur Zeichenmaschine ausgegeben. Die technischen Daten (Preis, Masse, Länge usw.), die Schlüssel-Nr. der Ventile im Verkettungsplan und die Markierungskreuze (Positionierhilfen in der Geräteliste) sind in dieser Ausgabe nicht enthalten.

2.3. *Entwerfen von Montagestrukturen mit INKO-HYDRA 5*

Der Programmodul HYDRA 5 beinhaltet den Entwurf von Montageplänen (MOP) und Montagestücklisten (MOSTL) für die schematische und/oder lagegerechte Anordnung der Bauelemente aus Hydraulikelementen und -gruppen, Umrissen von Maschinenbaugruppen sowie Geräteanschluß- und Rohrnetzelemente-Dateien. In den meisten Fällen wird der Montageplan (früher Rohrleitungsplan) schematisch aufgezeichnet (MOPs). Die Rohrleitungslängen sowie Art und Anzahl der Rohrkrümmer können aus diesem Plan nicht entnommen werden. Sie müssen z. B. für eine Druckverlustberechnung geschätzt werden. Der lagegerechte Montageplan (MOPl) kann die Schätzung dieser Angaben unterstützen. Dieser Plan ist vor allem bei räumlich verzweigtem Einbau der Geräte in einer Maschine erforderlich. Somit dominiert der MOPs bei der Aggregatmontage (Schrankmontage) und der MOPl beim Hydraulikgeräteeinbau im Ma-

Bild 7. Menü für Druckbegrenzungsventile (Darstellung 90° gedreht)



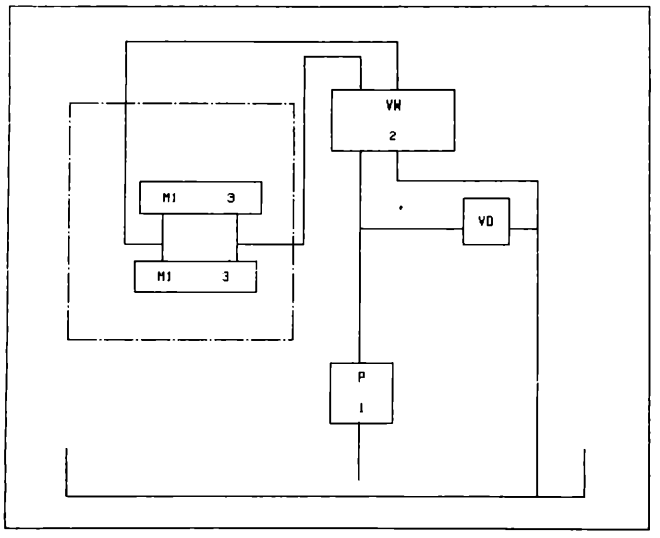


Bild 8. Beispiel für interaktive Plangenerierung auf HP 9845 B

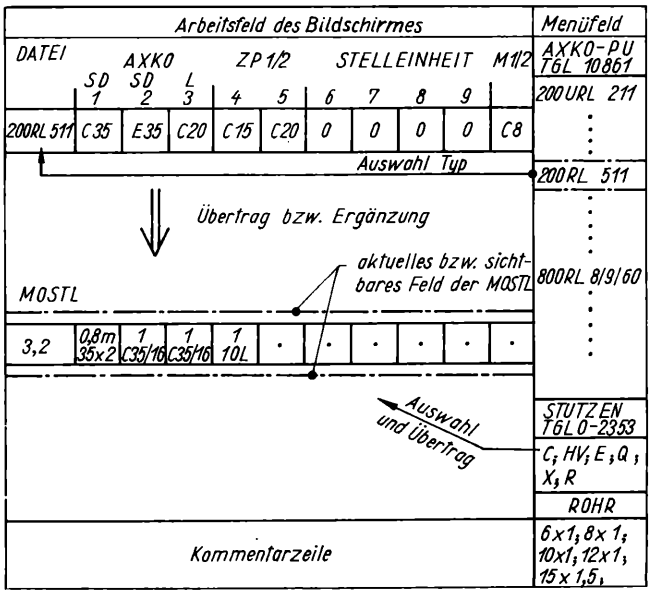


Bild 9. Lösungsstrategie für Erarbeitung Montageliste MOSTL

schinengestell (Beispiel: Plastmaschinenbau oder Mobiltechnik). Die MOSTL enthält in Form einer Tabelle sämtliche Rohrleitungen mit ihrer Nummer lt. MOP, den Abmessungen des jeweiligen Rohres mit ungefährer Längenangabe sowie den zugeordneten Elementen, wie Verschraubungen, Dichtungen, Überwurfmuttern usw.

Zur Erstellung der MOSTL sind erforderlich:

- Geräteanschluß- und Rohrnetzelementedatei (rechnerintern gespeichert)
- MOP (MOPl; MOPs)
- Geräteliste (HYDRA 1/2)
- Ventilverkettungsstruktur (HYDRA 4).

Zur Erstellung des MOP sind erforderlich:

- Funktionsschaltplan (HYDRA 1)
- Geräteliste (HYDRA 1/2)
- Unterlagen über Sonderelemente, die nicht in der Rechnerdatei enthalten sind
- Angaben zu Grobabmessungen des Maschinengestells bzw. Aggregatschrankes.

Die Erstellung der Fertigungsdokumentation kann auf der Basis eines aktiven Bildschirms in Verbindung mit einem Großrechner bzw. eines passiven Bildschirms mit Kleinrechner und entsprechender Peripherie (Digitalisiergerät, Drucker, Plotter usw.) erfolgen.

Generelle Voraussetzung zur rechnergeführten Erstellung der Fertigungsunterlagen ist die rechnerinterne Speicherung einer Geräteanschluß- und Rohrnetzelemente-Datei (ORSTA-Hydraulikbaukasten sowie Rohrverschraubungselemente nach TGL 0-2353, 8277 usw.) bzw. Gestellgrundformendatei (MOPl). Mit Hilfe der Menütechnik kann der rechnergeführte Projektierungsprozeß rationell und risikoarm durchgeführt werden.

Das Auf- und Abrufen der gewünschten Informationen, das Positionieren von Symbolen, Schriftzeichen u. ä. sowie das Erstellen von Listen erfolgt unter Verwendung eines entsprechenden Menüangebotes. Durch eine praxisgerechte Dialogfolge wird der Bearbeiter bedingt oder unbedingt durch das Programm geführt, wobei ihm an den entsprechenden Schnittstellen Zeit für Entscheidungen gelassen wird. Bei Verwendung eines aktiven Bildschirms (Positionierung und Löschung von Informationen werden durch Lichtstift direkt am Bildschirm vorgenommen) wird das Menü direkt über den Bildschirm aufgerufen. Beim passiven Bildschirm ist das prinzipiell auch möglich. Hier ist die Nutzung des Menüs über Digitalisiergerät (Tablett) zweckmäßiger. Ein Vorteil liegt in der Möglichkeit, ein wesentlich größeres Menü zu gestalten bzw. das Menüfeld komplett zur Nutzung anzubieten. Ein sogenannter „freier Dialog" wird weitgehend möglich. Wesentlich jedoch ist, daß beide Varianten gleichberechtigt Anwendung finden können. Die Lösungsstrategie für beide Dialogvarianten liegt vor [11]. Teile des beschriebenen Programmoduls HYDRA 5 sind bereits für einen Tischrechner HP 9845 B implementiert vorhanden.

Bild 8 zeigt einen unvollständigen schematischen Montageplan MOPs, der als Anschauungsbeispiel für das freie Plazieren von Symbolen und interaktive Verknüpfen mit Linienzügen auf einem HP 9845 B generiert wurde. Bild 9 demonstriert die festgelegte Lösungsstrategie zum Erarbeiten der Montageliste MOSTL im Dialog.

Literatur

[1] *Aurich, H.; Franz, L.; Schönfeld, S.:* Rechnerunterstütztes Konstruieren im Maschinenbau — Gegenwärtiger Stand und Perspektiven — Grundlagen Geräte und Überblick. Maschinenbautechnik **29** (1980) H. 4, S. 158—164.

[2] *Franz, L.:* Grundlagen zur Anwendung der Menü- und Bildschirmtechnik beim Konstruieren. Dissertation B, TH Karl-Marx-Stadt 1982.

[3] *Blumauer, G.:* Die rechnerunterstützte Projektierung hydrostatischer Antriebe und Steuerungen. Dissertation B, TH Karl-Marx-Stadt 1980.

[4] Autorenkollektiv: Programmsystem zum rechnerunterstützten Konstruieren. Wiss. Z. der TH Karl-Marx-Stadt **21** (1979) H. 3, S. 205—273.

[5] *Blumauer, G.:* Anwendung interaktiver grafischer Datenverarbeitungsanlagen beim Entwurf hydrostatischer Funktionsschaltpläne. Sonderdruck. Vortrag zur 3. Fachtagung Hydraulik und Pneumatik, Dresden 1979.

[6] *Blumauer, G.:* Rechnerunterstützte Projektierung hydrostatischer Anlagen. Sonderdruck. Vortrag zur 4. Fachtagung Hydraulik und Pneumatik, Magdeburg 1981.

[7] *Will, D.; Uhlig, H.; Wallis, E.:* Rechnerunterstützte Projektierung von Druckölquellen. Maschinenbautechnik **26** (1977) H. 3, S. 106—108 und 115.

[8] *Diederich, O.; Blumauer G.:* Rechnerunterstützte Projektierung der Fertigungsdokumentation hydrostatischer Anlagen mit aktivem Bildschirm. msr **24** (1981) H. 10 S. 504—508.

[9] *Diedriche, O.:* Anwenderdokumentation zum Programmodul INKO-HYDRA 4. TH Karl-Marx-Stadt, Sektion Verarbeitungstechnik 1981 (unveröff. Forschungsbericht).

[10] *Diederich, O.:* Rechnerunterstützte Projektierung hydrostatischer Ventilverkettungsstrukturen. Manuskript zur Dissertation A, TH Karl-Marx-Stadt 1982.

[11] *Blumauer, G.; Diederich, O.; Haderthauer, U.:* Stand der rechnerunterstützten Projektierung INKO-PRO. Sonderdruck. Kurzbeiträge zur Klausurtagung der Forschungsgruppe „Bildschirmunterstütztes Konstruieren" der TH Karl-Marx-Stadt, Sektion Verarbeitungstechnik, Rostock 1981.

[12] Autorenkollektiv: Programmierhandbuch GIPS. Rostock: Institut für Schiffbau, Rechenzentrum, 1978.

msr 7700

Dipl.-oec. *W. Stopp*, Berlin[1])

Empfindlichkeitsanalyse an dynamischen volkswirtschaftlichen Modellen

IA 1.1.; 6.2.

0. Einleitung

Gegenstand der Empfindlichkeitstheorie dynamischer Systeme ist es, die Auswirkungen von Änderungen der Systemparameter auf bestimmte, das Verhalten des Systems charakterisierende Größen zu untersuchen. Dabei bedient man sich sogenannter Empfindlichkeitsfunktionen:

$$s_q^z = \left.\frac{\partial z}{\partial q}\right|_{q=q_0},$$

absolute Empfindlichkeitsfunktion der Systemcharakteristik z bezüglich des Parameters q; q_0 nominaler Parameterwert.

Neben der Lösung einer Reihe praktischer Fragestellungen bei der Anwendung mathematischer Modelle in der Ökonomie, z. B. die Untersuchung der Fehlerfortpflanzung bei ungenauen Modellparametern, ermöglicht die Empfindlichkeitsanalyse auch eine tiefergehende theoretische Analyse.

Ziel dieses Beitrages ist es, zu zeigen, wie mit Hilfe mathematisch-kybernetischer Methoden die Untersuchung politökonomischer Probleme unterstützt und erweitert werden kann. Das geschieht hier am Beispiel dynamischer volkswirtschaftlicher Modelle.

Gegenstand der Analyse sind die Marxschen Reproduktionsschemata [1]. Es wird untersucht, welche Auswirkungen die (partielle) Veränderung solcher Größen, wie Akkumulationsrate, organische Zusammensetzung des Kapitals, Mehrwertrate in den beiden Abteilungen der gesellschaftlichen Produktion, auf das Reproduktionsgeschehen hat.

Die Analyse komplexer ökonomischer Zusammenhänge anhand partieller Einflüsse einzelner Größen ist der Methodik der politischen Ökonomie immanent (vgl. z. B. Analyse des Gesetzes des tendenziellen Falls der Profitrate [2]). Unter geeigneten Voraussetzungen können letztere mathematisch durch den partiellen Differentialquotienten repräsentiert werden. Als erster Ökonom hat *Cournot* 1838 diesen Apparat zur Analyse der Nachfrageelastizität angewandt [3].

[1]) Mitteilung aus der Hochschule für Ökonomie „Bruno Leuschner" Berlin, Sektion Leitung, Informationsverarbeitung und Statistik, WB Operationsforschung

1. Die Marxschen Reproduktionsschemata — ein dynamisches Modell des Reproduktionsgeschehens

Bei der Analyse der Reproduktion und Zirkulation des gesellschaftlichen Gesamtkapitals hat *Marx* insbesondere für die Reproduktionsschemata eine Reihe von Hypothesen formuliert [1] und [4], von denen hier im Hinblick auf das Modell nur die Autarkie der untersuchten Ökonomie, die Konstanz von Mehrwertrate, organischer Zusammensetzung des Kapitals, Akkumulationsrate (in Abteilung I) und die Abteilung I als Ausgangspunkt der erweiterten Reproduktion genannt werden. Als Akkumulationsrate wird dabei der Anteil des akkumulierten Mehrwertteils am gesamten Mehrwert einer Periode definiert. In der Literatur gibt es eine Reihe von Ansätzen zur mathematischen Fassung der Schemata, z. B. [5] bis [7]. In [8] wird eine dreisektorale Teilung der gesellschaftlichen Produktion untersucht; die Beschreibung dieses Falles als dynamisches System liefert [9].

Hier wird ein Modell in der Zustandsdarstellung dynamischer Systeme angegeben, das in seiner ursprünglichen, die Austauschbeziehungen zwischen den beiden Abteilungen der gesellschaftlichen Produktion explizit enthaltenden Form auf [10] (s. auch [11] und [12]) zurückgeht. Eine tiefere Gliederung wird nicht betrachtet. (*Marx* hatte ursprünglich eine tiefere Gliederung untersucht [13], S. 343ff.)

Die allgemeine Zustandsdarstellung eines zeitdiskreten, linearen, zeitinvarianten, dynamischen Systems lautet

$$\left.\begin{aligned} \boldsymbol{x}(k+1) &= \boldsymbol{A}(\boldsymbol{q})\,\boldsymbol{x}(k) + \boldsymbol{B}(\boldsymbol{q})\,\boldsymbol{u}(k);\ \boldsymbol{x}(k_0) = \boldsymbol{x}_0(q) \\ \boldsymbol{y}(k) &= \boldsymbol{C}(\boldsymbol{q})\,\boldsymbol{x}(k) + \boldsymbol{D}(\boldsymbol{q})\,\boldsymbol{u}(k) \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

mit $\boldsymbol{x} \in \boldsymbol{R}^n$, $\boldsymbol{u} \in \boldsymbol{R}^m$, $\boldsymbol{y} \in \boldsymbol{R}^p$ bzw. $\boldsymbol{q} \in \boldsymbol{R}^r$ als Zustands-, Steuer-, Ausgangs- bzw. Parametervektor bei entsprechend festgelegter System-, Steuer-, Ausgangs- bzw. Durchgangsmatrix $\boldsymbol{A}$, $\boldsymbol{B}$, $\boldsymbol{C}$ bzw. $\boldsymbol{D}$.

Das Reproduktionsmodell hat folgende Form, wobei aus Gründen des Kleinhaltens der Systemordnung nur zwei Zustandsgrößen gewählt und alle anderen interessierenden Größen als Systemausgänge modelliert wurden:

$$\boldsymbol{x}(k+1) = \begin{pmatrix} v_1(k+1) \\ c_2(k+1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 + \dfrac{v_1 n_1 \tau}{1+s_1} & 0 \\ 1 + \dfrac{(1+s_1-v_1 s_1)\,n_1\tau}{1+s_1} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_1(k) \\ c_2(k) \end{pmatrix}, \qquad \boldsymbol{x}(0) = \begin{pmatrix} v_{10} \\ c_{20} \end{pmatrix}$$

$$\boldsymbol{y}(k) = \begin{pmatrix} R_1(k+1) \\ R_2(k+1) \\ W_1(k) \\ W_2(k) \\ c_1(k) \\ v_2(k) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (1-v_1)\,n_1\tau & 0 \\ -\left(1+\dfrac{1}{s_2}\right)\left(1+\dfrac{(1+s_1-v_1 s_1)\,n_1\tau}{1+s_1}\right) & \dfrac{s_2+n_2\tau+1}{s_2} \\ s_1+1+n_1\tau & 0 \\ 0 & \dfrac{s_2+1+n_2}{s_2}\cdot\tau \\ s_1 & 0 \\ 0 & \dfrac{1}{s_2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_1(k) \\ c_2(k) \end{pmatrix}. \quad (2)$$

$c_i(k)$ konstantes Kapital in der Abteilung i, $v_i(k)$ variables Kapital in der Abteilung i, $R_i(k)$ Revenue in der Abteilung i, $W_i(k)$ Gesamtprodukt der Abteilung i in der Periode k; n_i Mehrwertrate und s_i organische Zusammensetzung in der i-ten Abteilung, $i = 1, 2$; v_1 Akkumulationsrate in I; τ Periodenlänge (Umschlagszeit) des Kapitals.

Die Anfangswerte v_{10} und c_{20} können ggf. auch als Modellparameter aufgefaßt werden.

Der Vergleich mit den Gln. (1) zeigt, daß es sich um ein ungesteuertes System handelt. In den Gln. (2) sind die Fälle der erweiterten, einfachen und eingeschränkten Reproduktion enthalten. Für den ersten ist das System instabil im Sinne von *Ljapunov*.

Im folgenden wird stets $\tau = 1$ Jahr angenommen. Für *Marx*' zweites Beispiel [1] (S. 505), für das die entsprechenden Daten lauten: $v_1 = 0.5$, $n_1 = n_2 = 1$, $s_1 = 4$, $s_2 = 2$, $c_{20} = 1500$, $v_{10} = 1500$, sind die nach Gln. (2) berechneten Trajektorien in Tafel 1 enthalten.

Das ideale ökonomische System, das *Marx*' Reproduktionsschemata und der mathematischen Fassung (2) zugrunde liegt, hat eine theoretisch sehr interessante Eigenschaft:

Satz 1: Für $k \geqq 1$ (d. h. für alle der Basisperiode folgenden Perioden) sind die Wachstumstempi in beiden Abteilungen gleich und konstant (λ) und alle Bestandteile des Gesamtprodukts der Abteilungen wachsen mit diesem Tempo λ. Für das betrachtete Beispiel gilt $\lambda = 0{,}1$.

Dabei sei als Wachstumstempo einer Größe $z(k)$ definiert:

$$\lambda_z(k) = \frac{\Delta z(k)}{z(k)}.$$

Eine ausführlichere Diskussion dieser Eigenschaft findet man in [4], zum Beweis des ersten Teiles des Satzes siehe [14]. Aufgrund der speziellen Struktur der Systemmatrix beim dynamischen Ansatz (2) und des Lemmas läßt sich ein einfacherer Beweis angeben, der hier aus Platzgründen ausgelassen wird. Hinsichtlich der Bemerkung von *Bródy* im Zusammenhang mit der Betrachtung der Dualität von allgemeiner Wachstumsrate und Durchschnittsprofitrate „Only the first year shows a little computational lapse of *Marx*" [7], S. 48, muß aber betont werden, daß der Satz allgemein gilt. Sicher kann man aus den Daten der ersten Periode „korrigierte" Basisdaten ermitteln, die das allgemeine Wachstumstempo von Anfang an liefern.

Tafel 1. Nominale Trajektorien

(Daten auf ganze Zahlen gerundet)

k	$v_1(k)$	$c_2(k)$	$y_2(k)$
0	1000	1500	600
1	1100	1600	560
2	1210	1760	616
3	1331	1936	678
4	1464	2130	745
5	1611	2343	820
6	1772	2577	902
7	1949	2834	992
8	2144	3118	1091
9	2358	3430	1200
10	2594	3773	1320
11	2853	4150	1452
12	3138	4565	1598
13	3452	5021	1758
14	3797	5524	1933
15	4177	6076	2127

$v_1(k) = 1/4\, c_1(k) = 2y_1(k) = 1/6\, W_1(k)$

$c_2(k) = 2v_2(k) = 1/2\, W_2(k)$

2. Empfindlichkeitsanalyse

Nun wird die Fragestellung untersucht, welche Auswirkungen die differentielle Änderung eines Modellparameters, z. B. eine infinitesimal kleine Erhöhung der Akkumulationsrate v_1, auf das Reproduktionsgeschehen hat.

Die gesuchten Empfindlichkeitsfunktionen werden in der Empfindlichkeitstheorie als Lösungen der sogenannten Empfindlichkeitsgleichungen, die man aus Gl. (1) durch partielle Differentiation nach den Parametern erhält, bestimmt:

$$\left.\begin{aligned} \boldsymbol{s}^x_{qj}(k+1) &= \boldsymbol{A}\boldsymbol{s}^x_{qj}(k) + \left.\frac{\partial \boldsymbol{A}(\boldsymbol{q})}{\partial q_j}\right|_{\boldsymbol{q}_0} \boldsymbol{x}(k) + \left.\frac{\partial \boldsymbol{B}(\boldsymbol{q})}{\partial q_j}\right|_{\boldsymbol{q}_0} \boldsymbol{u}(k), \\ \boldsymbol{s}^y_{qj}(k) &= \boldsymbol{C}\boldsymbol{s}^x_{qj}(k) + \left.\frac{\partial \boldsymbol{C}(\boldsymbol{q})}{\partial q_j}\right|_{\boldsymbol{q}_0} \boldsymbol{x}(k) + \left.\frac{\partial \boldsymbol{D}(\boldsymbol{q})}{\partial q_j}\right|_{\boldsymbol{q}_0} \boldsymbol{u}(k). \end{aligned}\right\} \tag{3}$$

Im allgemeinen gilt für die Anfangsbedingungen in den Gln. (3) $\boldsymbol{s}^x_{qj}(0) = \boldsymbol{0}$, im Falle der Empfindlichkeiten bez. der Anfangswerte des Originalsystems sind es entsprechende Einheitsvektoren.

Aus der Menge der Parameter werden v_1 und s_1 für eine beispielhafte Analyse mit Hilfe der Empfindlichkeitstheorie ausgewählt. Dabei wird vorausgesetzt, daß das Modell (2) eine adäquate Abbildung der Reproduktionsschemata ist.

2.1. Analyse der Empfindlichkeit bezüglich v_1

Im Rahmen der ökonomischen Theorie kommt man zu dem Schluß, daß eine Erhöhung der Akkumulationsrate I bei sonst gleichbleibenden Bedingungen zunächst zu einer Erhöhung des Ausgangsbestandes an konstantem und variablem Kapital I der ersten Periode $c_1(1)$ und $v_1(1)$ und im weiteren zu einer schnelleren Entwicklung der Abt. I gegenüber der nominalen Variante führen wird. Für mindestens eine Periode wird die Revenue I sinken. Ähnlich kann man sich überlegen, daß sich II gegenüber der nominalen Variante über längere Zeit ebenfalls schneller entwickeln wird, da I mehr Waren in den Austausch mit II wirft.

Zu einer tiefergehenden Analyse sollen nun die Empfindlichkeitsfunktionen bez. v_1 betrachtet werden:

Differenziert man die Gln. (2) nach v_1, erhält man als Zustandsempfindlichkeitsfunktionen (ZEF) laut Gln. (3)

$$\left.\begin{aligned} s^{v_1}_{v_1}(k+1) &= \left(1 + \frac{v_1 n_1 \tau}{1+s_1}\right) s^{v_1}_{v_1}(k) + \frac{n_1\tau}{1+s_1} v_1(k); \\ s^{v_1}_{v_1}(0) &= 0 \end{aligned}\right\} \tag{4}$$

bzw.

$$\left.\begin{aligned} s^{c_2}_{v_1}(k+1) &= \left(1 + \frac{(1+s_1 - v_1 s_1)\, n_1 \tau}{1+s_1}\right) s^{v_1}_{v_1}(k) - \\ &\quad - \frac{s_1 n_1 \tau}{1+s_1} v_1(k); \quad s^{c_2}_{v_1}(0) = 0. \end{aligned}\right\} \tag{5}$$

Aus der Rekursionsgleichung (4) kann auf das Vorzeichen von $s^{v_1}_{v_1}$ geschlossen werden; eine Erhöhung von v_1 führt in allen Perioden zu einer Erhöhung von v_1 gegenüber der nominalen Trajektorie. Aus Gl. (5) kann nicht trivial auf das Vorzeichen der Empfindlichkeit des konstanten Kapitals II bez. v_1 geschlossen werden, d. h. eine Erhöhung von v_1 kann sowohl zu positiven als auch zu negativen Abweichungen von c_2 führen.

Die Ausgangsempfindlichkeitsfunktionen (AEF) $s^{R_1}_{v_1}$ bis $s^{v_2}_{v_1}$ sind (vgl. Gln. (3)) Linearkombinationen der ZEF (4) und (5) und der nominalen Zustandsverläufe, so daß auf ihre Angabe verzichtet wird.

Für das untersuchte Beispiel sind die numerischen Resultate in Tafel 2 enthalten. Sie können wie folgt interpretiert werden:

Weicht v_1 absolut um eine (differentielle) Einheit nach oben ab, so reagiert beispielsweise das Gesamtprodukt I mit einer abso-

Tafel 2. Absolute Empfindlichkeitsfunktionen bez. v_1
(Daten auf ganze Zahlen gerundet)

k	$s^{v_1}_{v_1}(k)$	$s^{c_2}_{v_1}(k)$	$s^{y_1}_{v_1}(k)$	$s^{y_2}_{v_1}(k)$
0	0	0	−1000	1200
1	200	−800	−1000	−760
2	440	−560	−990	−724
3	726	−264	−968	−673
4	1065	97	−932	−605
5	1464	532	−878	−516
6	1933	1054	−805	−404
7	2480	1675	−709	−264
8	3118	2409	−585	− 92
9	3858	3274	−429	117
10	4716	4287	−236	369
11	5706	5470	0	670
12	6847	6847	285	1027
13	8160	8445	628	1449
14	9666	10294	1036	1946
15	11392	12428	1519	2527

$s^{v_1}_{v_1}(k) = 1/4\, s^{c_1}_{v_1}(k) = 1/6\, s^{W_1}_{v_1}(k)$

$s^{c_2}_{v_1}(k) = 2\, s^{v_2}_{v_1}(k) = 1/2\, s^{W_2}_{v_1}(k)$

Tafel 3. Absolute Empfindlichkeitsfunktionen bez. s_1
(Daten auf ganze Zahlen gerundet)

k	$s^{v_1}_{s_1}(k)$	$s^{c_1}_{s_1}(k)$	$s^{c_2}_{s_1}(k)$	$s^{y_2}_{s_1}(k)$	$s^{W_1}_{s_1}(k)$
0	0	1000	0	30	1000
1	− 20	1020	− 20	41	980
2	− 44	1034	− 54	34	946
3	− 73	1041	− 95	25	895
4	− 106	1038	− 143	14	825
5	− 146	1025	− 200	0	732
6	− 193	998	− 266	− 16	612
7	− 248	957	− 345	− 36	461
8	− 312	896	− 436	− 59	273
9	− 386	815	− 542	− 87	43
10	− 472	707	− 665	−119	− 236
11	− 571	571	− 806	−158	− 571
12	− 685	399	− 970	−203	− 970
13	− 816	188	−1158	−255	−1444
14	− 967	− 69	−1375	−315	−2002
15	−1139	−380	−1623	−386	−2658

$s^{v_1}_{s_1}(k) = 2 s^{y_1}_{s_1}(k)$

$s^{c_2}_{s_1}(k) = 2 s^{v_2}_{s_1}(k) = 1/2\, s^{W_2}_{s_1}(k)$

luten Erhöhung in der ersten Periode von 1200 und in der 15. Periode von 68355 Einheiten.

Besonders interessant ist das Verhalten der Revenue II. Der Wert $s^{y_2}_{v_1}(0) = s^{R_2}_{v_1}(1) = 1200$ sagt aus, daß die in der Periode Eins zur Verfügung stehende Revenue II bei Erhöhung von v_1 um z. B. 0,1 um 120 Einheiten gegenüber dem nominalen Wert von 600 steigt. Das kann wie folgt erklärt werden:

Durch die veränderte Verwendung von $W_1(0)$, nämlich die Erhöhung des zu akkumulierenden Mehrwertteiles I auf 600, und die hohe organische Zusammensetzung I ($s_1 = 4$) sinkt insgesamt der in den Austausch mit II geworfene Teil von $W_1(0)$, nämlich von 1600 auf 1520. Die Folge ist, daß II weniger akkumulieren muß, was die Erhöhung der Revenue bewirkt. Aber bereits in der nächsten Periode wirkt sich die erhöhte Akkumulation in I senkend auf die Revenue II aus.

Abschließend sei festgehalten, daß eine Akkumulationsratenerhöhung in I erst in der 12. Periode, in II dagegen bereits in der 9. Periode zu einer Erhöhung der nominalen Revenuen führt.

2.2. *Analyse der Empfindlichkeit bezüglich s_1*

Aus der ökonomischen Theorie ist klar, daß eine Erhöhung der organischen Zusammensetzung des Kapitals I bei sonst gleichbleibenden Bedingungen über einen längeren Zeitraum zu einer Senkung aller Kapitalbestandteile in beiden Abteilungen führen wird, denn die Verschiebung des Verhältnisses $\Delta c_1 : \Delta v_1$ zugunsten von Δc_1 und die Konstanz der Mehrwertraten führen in der Folge zu einer geringeren Mehrwertproduktion in I, schließlich zu einem absoluten Sinken des Akkumulationsfonds im Vergleich zur nominalen Variante.

In Analogie zu oben können die Empfindlichkeitsfunktionen zur genaueren Analyse gewonnen werden; sie werden hier ausgelassen. Aus den Gleichungen der ZEF $s^{v_1}_{s_1}$ und $s^{c_2}_{s_1}$ kann man sofort auf ihr negatives Vorzeichen schließen, was obige rein ökonomische Überlegung bestätigt.

Ähnliche Überlegungen kann man anhand der AEF-Gleichungen anstellen:

Der Betrag von c_1 wird zunächst natürlich steigen, den genauen Verlauf (in den ersten Perioden sogar eine wachsende Empfindlichkeit) zeigt Tafel 3. Für W_1 und R_2 ist ebenfalls zunächst eine Erhöhung und anschließend ein Abfallen gegenüber den nominalen Trajektorien bei vergrößertem s_1 festzustellen.

Unter Hinzuziehung der Empfindlichkeitsfunktionen bez. n_1 können Bedingungen abgeleitet werden, die zu einer Kompensation der Auswirkung einer s_1-Änderung führen.

2.3. *Eigenschaften der Empfindlichkeitsfunktionen*

Abschließend werden zwei theoretisch interessante Eigenschaften der Empfindlichkeitsfunktionen bez. der Parameter des dynamischen Reproduktionsmodells angegeben:

Lemma: Für das Wachstumstempo einer Größe $z(k) = f(x_1, \ldots, x_l, k)$ gilt die Beziehung

$$\lambda_z(k) = \sum_{i=1}^{l} \frac{x_i(k)}{z(k)} \frac{\partial z}{\partial x_i} \frac{\Delta x_i(k)}{x_i(k)}.$$

Der Beweis folgt unmittelbar aus der Darstellung des vollständigen Differentials.

Es kann nun der folgende Satz gezeigt werden:

Satz 2: Sind die absoluten Empfindlichkeitsfunktionen des Systems (2) bez. der Parameter nicht identisch Null, so streben die Wachstumstempi λ_s dieser Empfindlichkeitsfunktionen für $k \to \infty$ asymptotisch gegen das allgemeine Wachstumstempo λ (vgl. Satz 1; die Empfindlichkeiten bez. der Anfangswerte v_{10}, c_{20} werden hier nicht betrachtet).

Der Beweis folgt der Beweisidee für Satz 1 unter Nutzung der Struktur der Systemmatrix von (2), indem er erst für die ZEF und dann für die AEF gemäß dem Lemma gezeigt wird. Aus den Sätzen 1 und 2 ergibt sich nun mit dem Lemma die

Folgerung: Ist eine absolute Empfindlichkeitsfunktion des Systems (2) nicht identisch Null, so hat das Wachstumstempo der relativen Empfindlichkeitsfunktion $\tilde{s}\lambda_{\tilde{s}}$ für $k \to \infty$ den Grenzwert Null, d. h., $\tilde{s}$ strebt gegen eine Konstante.

Beispielsmäßig kann das Ergebnis so interpretiert werden: Weicht v_1 relativ (oder absolut) um eine infinitesimal kleine Einheit vom Nominalwert ab, so wirkt sich das auf die Systemgrößen c_i, v_i, W_i, R_i, $i = 1, 2$, nach hinreichend langer Zeit, $k \to \infty$, nur noch in Form einer jeweils konstanten relativen Änderung dieser Größen aus.

Zusammenfassung

Anhand der Empfindlichkeitsuntersuchung eines dynamischen Modells des Reproduktionsgeschehens im Kapitalismus wurde gezeigt, wie die politökonomische Analyse durch mathematische Hilfsmittel erweitert werden kann. Diese Erweiterung gilt nicht nur für die Ermittlung quantitativer Zusammenhänge, sondern ebenso für bestimmte theoretische, qualitative Ergebnisse.

Die Empfindlichkeitsanalyse bez. der anderen Parameter n_1, n_2, s_2, v_{10}, c_{20} kann in analoger Weise erfolgen.

Für die Reproduktionsproblematik im Sozialismus können ähnliche Untersuchungen auf der Basis der politischen Ökonomie des Sozialismus vorgenommen werden, vgl. z. B. [15].
In Erweiterung zu Satz 1 konnten theoretische Ergebnisse zum Verhalten der Empfindlichkeitsfunktionen nachgewiesen werden.

Literatur

[1] *Marx, K.:* Das Kapital. Kritik der politischen Ökonomie. Zweiter Band. Berlin: Dietz Verlag 1973.
[2] *Marx, K.:* Das Kapital. Kritik der politischen Ökonomie. Dritter Band. Berlin: Dietz Verlag 1973.
[3] *Cournot, A.:* Untersuchungen über die mathematischen Grundlagen der Theorie des Reichtums. Jena: Verlag von Gustav Fischer 1924.
[4] *Dadajan, V. S.:* Predislovie (Vorwort) zu [8].
[5] *Kazancev, S. V.:* Makromodelirovanie rasširennogo vosproizvodstva (Makromodellierung der erweiterten Reproduktion). Novosibirsk: Izd. Nauka, Sibirskoe otdelenie 1980.
[6] *Müller, E.:* Volkswirtschaftlicher Reproduktionsprozeß und dynamische Modelle. Berlin: Verl. Die Wirtschaft 1973.
[7] *Bródy, A.:* Proportions, Prices and Planning. A Mathematical Restatement of the Labor Theory of Value. Budapest: Akadémiai Kiadó; Amsterdam-London: North-Holland Publ. Comp. 1970.
[8] *Chošimura, Š.:* Teorija vosproizvodstva i nakoplenija kapitala (Theorie der Reproduktion und Akkumulation des Kapitals, Übers. a. d. Engl.). Moskva: Izd. Progress 1978.
[9] *Sergienko, Ju. M.:* O dinamike vosproizvodstva kapitala i delenii obščestvennogo proizvodstva na tri podrazdelenija (Über die Dynamik der Reproduktion des Kapitals und die Aufteilung der gesellschaftlichen Produktion in drei Abteilungen). Ekonomika i matematičeskie metody **16** (1980) No. 6, str. 1201–1207.
[10] *Pisljakov, B. G.:* Matematičeskaja model' vosproizvodstva K. Marksa i V. I. Lenina (Ein mathematisches Modell der Reproduktion von K. Marx und W. I. Lenin). Ekonomika i matematičeskie metody **10** (1974) No. 6, str. 1059–1068.
[11] *Pisljakov, B. G.:* Matematičeskaja model' rasširennogo vosproizvodstva (Ein mathematisches Modell der erweiterten Reproduktion). Ekonomika i matematičeskie metody **13** (1977) No. 3, str. 589–594.
[12] *Pisljakov, B. G.:* Matematičeskaja model' vosproizvodstva mnogoproduktovoj ėkonomiki (Ein mathematisches Modell der Reproduktion einer Mehr-Produkt-Ökonomie). Ekonomika i matematičeskie metody **16** (1980) No. 6, str. 1042–1054.
[13] *Marx, K.:* Grundrisse der Kritik der politischen Ökonomie (Rohentwurf). Berlin: Dietz Verlag 1974.
[14] *Bašmakov, I. A.:* Analis dinamiki dvuch podrazdelenij obščestvennogo proizvodstva s pomošč'ju schem rasširennogo vosproizvodstva (Analyse der Dynamik der zwei Abteilungen der gesellschaftlichen Produktion mit Hilfe der Schemata der erweiterten Reproduktion). Ekonomika i matematičeskie metody **16** (1980) No. 6, str. 1029–1041.
[15] *Altmann, E.; Reichenberg, R.:* Die erweiterte sozialistische Reproduktion. Berlin: Dietz Verlag 1979.

msr 7643

Prof. Dr. sc. techn. *D. Balzer* und Dr.-Ing. *B. Böhme*, Leipzig[1])

Zur Abschätzung der Softwarezuverlässigkeit in automatisierten Steuerungssystemen

IA 2.8.3.2.

0. Einleitung

Beim Einsatz von Prozeß- und Mikroprozeßrechnern zur Rationalisierung bestehender Produktions-, Hilfs- und Nebenprozesse sowie beim Einsatz dieser freiprogrammierbaren Automatisierungstechnik als integraler Bestandteil moderner Automatisierungsanlagen nimmt der Anteil der Systemunterlagen (Software) an den Gesamtkosten ständig zu. Das ist auf Entwicklungen zurückzuführen, die sowohl die zu automatisierenden Prozesse als auch die Automatisierungstechnik betreffen. Das bedeutet wiederum, daß bei der Bewertung der Zuverlässigkeit der Automatisierungstechnik die Zuverlässigkeit der Systemunterlagen (Softwarezuverlässigkeit) eine immer größere Rolle spielt. Aspekte der Softwarezuverlässigkeit beim Einsatz von Mikroprozeßrechnern in hierarchisch strukturierten Steuerungssystemen werden in [1] betrachtet. Im Gegensatz zur Systemtechnik (Hardware) unterliegt die Software keinem Alterungsprozeß im herkömmlichen Sinn, so daß Fehler in den Systemunterlagen nur auf Entwurfsfehler zurückgeführt werden können.
Für den Automatisierungsingenieur stellt sich nun die Frage, inwieweit die für die Prozeßstabilisierung, Prozeßoptimierung und Prozeßsicherung projektierten Systemunterlagen den speziellen Zuverlässigkeitsanforderungen genügen, um die notwendige Stabilität und Zuverlässigkeit des Automatisierungssystems zu gewährleisten.
Unter der Zuverlässigkeit eines Steuerungsprogrammsystems ist dabei die Wahrscheinlichkeit dessen zu verstehen, daß das Programmsystem innerhalb eines vorgegebenen Zeitintervalls alle vorgesehenen Steuerungsaufgaben für einen bestimmten Eingaberaum bei festliegenden Eingabebedingungen realisiert. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß bei der Analyse von Echtzeitprogrammen bzw. -programmsystemen neben dem Zuverlässigkeitsbegriff häufig weitere Begriffe mit z. T. synonymem Charakter, wie Korrektheit, Richtigkeit, Sicherheit und Robustheit, verwendet werden, die jedoch streng zu unterscheiden sind. Die Richtigkeit oder Korrektheit eines Programms stellt lediglich eine logische Größe dar, die sich nur auf die Übereinstimmung zwischen funktioneller Spezifikation und Programmtext bezieht, losgelöst vom eigentlichen Verwendungszweck des Programms. Dagegen ist die Sicherheit eines Programms oder Programmsystems gleich der Wahrscheinlichkeit, daß dieses Programm(-system) bis zur Zeit t keinen gefährlichen Zustand im Prozeßautomatisierungssystem verursacht. Der Sicherheitsbegriff engt somit den Begriff der Softwarezuverlässigkeit weiter ein, da hier nur kritische Fehler, die zu einem Systemausfall mit katastrophalen Folgen für den zu steuernden Prozeß führen, betrachtet werden.
Letztlich bezeichnet man als Robustheit die Fähigkeit eines Programmsystems, auftretende Hardware- und Eingabefehler zu kompensieren bzw. ihre Folgen in bezug auf die gegebene Applikation abzuschwächen. In realen Steuerungssystemen können trotz fortschreitender Vervollkommnung der Technik und ständiger Verbesserung der Mensch-Maschine-Kommunikation auch zukünftig Hardware- und Eingabefehler nicht ausgeschlossen werden, so daß die Robustheit der Software eine der wichtigsten Voraussetzungen für die Erhöhung der Systemzuverlässigkeit insgesamt darstellt. Erfahrungen zeigen, daß die Testung der Systemunterlagen nur ungefähr 90% der Programmfehler aufdeckt. Von den verbleibenden Fehlern entstanden im Mittel 80% bei der Ausarbeitung der Algorithmen (einschließlich der Systemanalyse) und 20% beim Programmieren.
Die theoretische Basis der quantitativen Bewertung der Softwarezuverlässigkeit bilden (ähnlich der Hardwarezuverlässigkeit) die Wahrscheinlichkeitsrechnung und die mathematische Statistik. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist allerdings zu berücksichtigen, daß die Anzahl der Softwarefehler in der Betriebsphase des Steuerungssystems vom Standpunkt der Wahrscheinlichkeitsrechnung relativ gering ist, obwohl es sich oft um gefährliche Fehler handelt.

1. Klassifizierung der Softwarefehler

Die Klassifizierung der Softwarefehler kann nach mehreren Gesichtspunkten vorgenommen werden. Neben der bereits erwähnten Unterscheidung in kritische und unkritische Fehler

[1]) Mitteilung aus der TH Leipzig, Sektion Automatisierungsanlagen.

können Softwarefehler auch nach ihrer Fehlerursache klassifiziert werden. Dabei ergeben sich folgende Fehlerklassen:

Systemanalysefehler

Systemanalysefehler sind Fehler im mathematischen Modell des Gesamtsystems, die durch nichtadäquate Beschreibung der verlaufenden Prozesse bzw. existierender Zusammenhänge entstehen. Sie resultieren im wesentlichen daraus, daß

- physikalische, chemische oder biologische Gesetzmäßigkeiten nicht erkannt bzw. aufgrund ihrer außerordentlichen Kompliziertheit fehlerhaft erfaßt werden
- bestehende Korrelationen zwischen Systemgrößen nicht bemerkt oder nicht berücksichtigt werden
- Kopplungsbedingungen zwischen Teilsystemen ungenügend modelliert wurden
- Maßstabübertragungen fehlerhaft durchgeführt wurden
- Dimensionierungsfehler begangen wurden
- ungünstige, nicht zum absoluten Optimum führende Optimierungsmethoden und -algorithmen ausgewählt wurden
- falsch dekomponiert wurde.

Hierbei sei ausdrücklich festgestellt, daß zwischen diesen Fehlern und dem Problem der unscharfen mathematischen Modellierung sowie der unscharfen Prozeßsteuerung kein ursächlicher Zusammenhang besteht. Beim Unschärfekonzept wird zwar bewußt auf ein genaues mathematisches Modell verzichtet, trotzdem müssen die kausalen Zusammenhänge prinzipiell richtig wiedergegeben werden. Die Unschärfetheorie liefert dann lediglich eine Fehlerbewertung in Form von Unschärfeverteilungen zu den einzelnen Grobmodellen, so daß mit Hilfe geeigneter Strategien eine Beschreibung des realen Systems möglich wird. Eine fehlerhafte Modellstruktur wirkt sich bei unscharfer Systembeschreibung ebenso negativ aus wie bei deterministischem Vorgehen.
Systemanalysefehler sind relativ schwer zu entdecken und teilweise noch schwerer zu beheben, da der oftmals iterativ verlaufende Formalisierungsprozeß neben soliden fachlichen Kenntnissen ein hohes Abstraktionsvermögen erfordert. Besonders bei komplexen kontinuierlichen Systemen ist es in der Regel unmöglich, bei Änderung einzelner mathematischer Beziehungen bzw. bei Eingriffen in Teilmodelle alle Auswirkungen auf das Verhalten des Gesamtmodells zu überschauen. Einen entsprechenden Vergleich zu den Programmierfehlern enthält die Tafel. Die dort für einen konkreten Einsatzfall nach [2] dargestellten Werte spiegeln diesen Sachverhalt gut wider.

Programmierfehler

Stimmt ein Objektprogramm nicht mit der gültigen Programmspezifikation überein, so liegt ein Programmierfehler vor. Zu den Programmierfehlern werden somit neben Fehlern in der Detaillogik und Kodierungsfehlern auch Übersetzungsfehler gezählt. Die Häufigkeit des Auftretens von Programmierfehlern hängt wesentlich von der Komplexität des zu erstellenden Programms bzw. Programmsystems, der angewendeten Programmiermethodik, der verwendeten Programmiersprache und der Qualifikation der Programmierer ab.
Erfahrungen bei der Inbetriebnahme eines Echtzeitprogrammsystems zur Steuerung einer verfahrenstechnischen Großanlage in einem Chemiekombinat der DDR zeigen, daß innerhalb der Programmierfehler die Kodierungsfehler dominieren. Dabei konzentrierte sich die Masse aller aufgedeckter Kodierungsfehler auf folgende Fehlerarten:

- Syntaxfehler
- Schreibfehler in Variablennamen
- Fehler in Iterationsschleifen
- Vereinbarungsfehler
- Fehler beim Aufbau und bei der Nutzung von Dateien (z. B. Überschreiben gemeinsam benutzter Datenfelder)
- falsche Zuordnung bei Parameterübergaben an Unterprogramme und Programmblöcke

Weiterhin waren Fehler im Zusammenhang mit der Verwendung von Assemblerunterprogrammen innerhalb des in Compilersprache erstellten Programmsystems zu verzeichnen.
Zu den im Teststadium besonders schwer aufzudeckenden Programmfehlern gehört außerdem die gegenseitige Blockierung im Echtzeitbetrieb.

Arithmetische Fehler

Ein arithmetischer Fehler liegt vor, wenn aufgrund der begrenzten Darstellungsgenauigkeit des Rechners Zwischenergebnisse arithmetischer Operationen den Wert Null annehmen und anschließend durch Null dividiert bzw. mit Null multipliziert wird oder im Ergebnis arithmetischer Operationen ein Überschreiten des begrenzten Zahlenbereiches (Overflow) erfolgt.
Bedingt durch die relativ kurze Wortlänge von 8 bzw. 16 bit muß vor allem in Prozeßrechnern bei Vorwärtssteuerung mit dem Auftreten von arithmetischen Fehlern gerechnet werden.

Zeitfehler

Bei Zuverlässigkeitsanalysen automatischer oder automatisierter Steuerungssysteme spielt der Zeitfaktor eine wichtige Rolle. Es muß gewährleistet sein, daß die durch das Programmsystem zu berechnenden Steuerwerte rechtzeitig ausgegeben werden.
Ein Zeitfehler liegt vor, wenn die benötigten Steuerinformationen nach Ablauf einer maximalen Antwortzeit T_{AZ}, die ihrerseits in hohem Maße vom Typ des Automatisierungssystems und der Steueraufgabe selbst abhängt, nicht zur Verfügung stehen.
Das Auftreten von Zeitfehlern ist hauptsächlich durch schlechte Konvergenz iterativer Lösungsalgorithmen sowohl bei der Prozeßanalyse (Situationserkennung, Identifikation) als auch bei der Prozeßoptimierung bedingt.
Eine Analyse der Softwarefehler in einem umfangreichen Programmsystem zur optimierenden Steuerung einer verfahrenstechnischen Großanlage ergab für einen Untersuchungszeitraum von 5 Monaten (Off-line- und On-line-Test) folgende Charakteristik:

Systemanalysefehler	26%
Programmierfehler, davon	74%
— Übersetzungsfehler	14%
— Kodierungsfehler	37%
— logische Fehler Echtzeit	9%
— logische Fehler Kommunikation	14%

2. Mathematische Modellierung der Softwarezuverlässigkeit

Bei der Erstellung des mathematischen Modells wird vorausgesetzt, daß

- alle Softwarefehler voneinander unabhängig sind und zufällig auftreten
- jeder Softwarefehler zum Ausfall des Steuerprogrammsystems führt
- bei jedem Softwareausfall immer nur ein Fehler entdeckt und beseitigt wird sowie bei der Fehlerbehebung keine neuen Fehler hineingetragen werden

Tafel. Vergleich zwischen Systemanalysefehlern und Programmierfehlern

	Systemanalyse-fehler	Programmier-fehler
Mittlere Zeit für Fehlerdiagnostik in h/Fehler	3,1	2,2
Mittlere Zeit für Fehlerbehebung in h/Fehler	4,0	0,8

— in der Testphase die Eingangsdaten über dem Eingaberaum repräsentativ verteilt sind, so daß eine Konzentration nicht aufgefundener Fehler für bestimmte reale Einsatzbedingungen ausgeschlossen wird.

Für die geforderte quantitative Bewertung wird bezeichnet:

$R(t)$ — die Wahrscheinlichkeit dessen, daß die Software im Zeitraum von 0 bis t nicht ausfällt (kein Auftreten eines relevanten Softwarefehlers)

$F(t)$ — die Wahrscheinlichkeit dessen, daß die Software im Zeitraum von 0 bis t ausfällt (Auftreten eines relevanten Softwarefehlers).

Außerdem sei definiert:

$\lambda(t)\,\mathrm{d}t$ — bedingte Wahrscheinlichkeit dessen, daß ein Softwarefehler im Intervall von t bis $(t + \mathrm{d}t)$ erfolgt, unter der Bedingung, daß bis zum Zeitpunkt t kein Softwareausfall erfolgte.

Die Funktion $\lambda(t)$ kann man also als Dichte einer bedingten Wahrscheinlichkeit betrachten. $\lambda(t)$ wird auch oft als Ausfallrate oder Fehlerrate bezeichnet.
Unter Verwendung bekannter Beziehungen der Wahrscheinlichkeitsrechnung gilt

$$\lambda(t) = \frac{\mathrm{d}F(t)}{\mathrm{d}t} \cdot \frac{1}{R(t)} = -\frac{\mathrm{d}R(t)}{\mathrm{d}t} \frac{1}{R(t)}. \tag{1}$$

Als Lösung der Gl. (1) erhält man bei der Anfangsbedingung $R(0) = 1$

$$R(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(\tau)\,\mathrm{d}\tau\right]. \tag{2}$$

Die Gleichung gilt im wesentlichen sowohl für die Systemtechnik (Hardware) als auch für die Systemunterlagen (Software). Bei der Betrachtung der Hardwarezuverlässigkeit geht man in der Regel davon aus, daß λ = const. ist. Bei der Untersuchung der Softwarezuverlässigkeit hingegen muß berücksichtigt werden, daß jede Korrektur bei Auftreten eines Fehlers zu einer Erhöhung der Zuverlässigkeit führt (Bild 1).
Es ist nun notwendig, bei der Bewertung der Softwarezuverlässigkeit sinnvolle Annahmen bezüglich der Abhängigkeit von der Zeit zu machen.
Die bisher gesammelten Erfahrungen zeigen, daß die Ausfallrate λ direkt proportional der Anzahl der im Programm verbliebenen Fehler ist und in der Regel durch folgendes, erstmals in [3] vorgeschlagenes einfaches Modell gut beschrieben werden kann:

$$\lambda(t) = K(N - n)\,. \tag{3}$$

N Gesamtfehlerzahl
n Anzahl der erkannten und korrigierten Fehler
K Proportionalitätsfaktor

Die Abhängigkeit der Ausfallrate λ von der Zeit ist also genaugenommen eine Stufenfunktion (Bild 2). In den Zeitabschnitten zwischen zwei Fehlerkorrekturen bleibt λ konstant und wird nach erfolgter Korrektur sprungförmig um den Wert K reduziert. In der Test- bzw. Betriebsphase des Prozeßsteuerungssystems werden die Zeitintervalle Δt_n ermittelt und registriert. Dadurch erhält man die Möglichkeit, die unbekannten Werte in der Gl. (3), nämlich K und N, abzuschätzen. Dazu geht man von folgendem aus: Die Wahrscheinlichkeit für Δt_n kann unter Berücksichtigung der oben angeführten Voraussetzungen nach folgender, aus der Wahrscheinlichkeitsrechnung bekannter Beziehung ermittelt werden:

$$P\{\Delta t_\mathrm{n}\} = K(N - n)\, \mathrm{e}^{[-K(N-n)\Delta t_\mathrm{n}]}. \tag{4}$$

Es sei angenommen, daß insgesamt m Softwarefehler erkannt und korrigiert wurden. Unter Anwendung des Maximum-Likelihood-Prinzips ist es dann möglich, folgende Gleichungen für

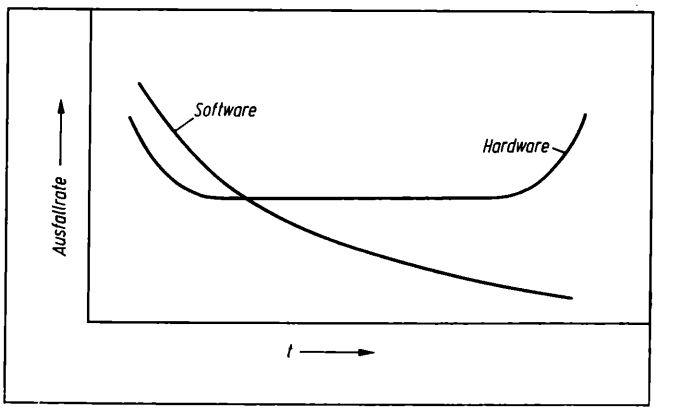


Bild 1. Typische Zeitabhängigkeit der Ausfallrate λ von Hard- und Software

die Abschätzung von N und K anzugeben:

$$\sum_{n=1}^{m} \frac{1}{N - n} = \frac{m}{N - \frac{1}{t}\left(\sum_{n=1}^{m} \Delta t_\mathrm{n} n\right)} = Kt\,, \tag{5}$$

hierbei gilt für t:

$$t = \sum_{n=1}^{m} \Delta t_\mathrm{n}\,. \tag{6}$$

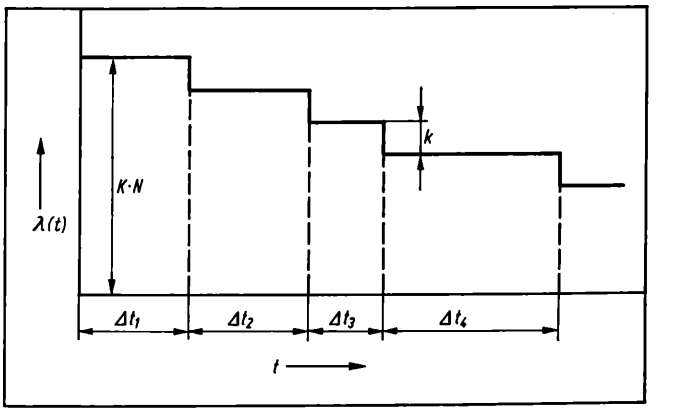
Mit Hilfe der beiden Gleichungen kann also abgeschätzt werden:

— die Gesamtzahl der Softwarefehler N
— die Anzahl der verbliebenen Softwarefehler $(N - m)$
— die Zeit, die bis zum Auftreten eines weiteren Softwareausfalls vergeht $(\Delta t_{\mathrm{m}+1})$ bzw. die Wahrscheinlichkeit dessen, daß nach erfolgter Korrektur eines Softwarefehlers kein Ausfall des Programmsystems erfolgt (Bild 3). Dazu kann Gl. (2) benutzt werden.

Die bisher beschriebenen Modellvorstellungen zur Softwarezuverlässigkeit müssen, wenn weitere Erfahrungen vorliegen, möglicherweise korrigiert bzw. präzisiert werden. Bereits jetzt kann man schon feststellen:

— Bei der Korrektur eines Softwarefehlers ist es nicht möglich, das Hineintragen zusätzlicher, vorher nicht vorhandener Softwarefehler völlig auszuschließen. Darüber hinaus kann auch angenommen werden, daß, je länger ein Programm ohne Fehler arbeitet, desto geringer die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines weiteren Fehlers ist. Die Abhängigkeit der Ausfallrate von der Zeit hat also im Prinzip das Aussehen einer Sägezahnkurve, wie auf Bild 4 dargestellt wurde. Es

Bild 2. Theoretische Zeitabhängigkeit von λ bei konstanter Ausfallrate zwischen zwei Fehlerkorrekturen und sofortiger Fehlerbehebung
(t_n — Zeitintervall zwischen zwei Softwareausfällen)



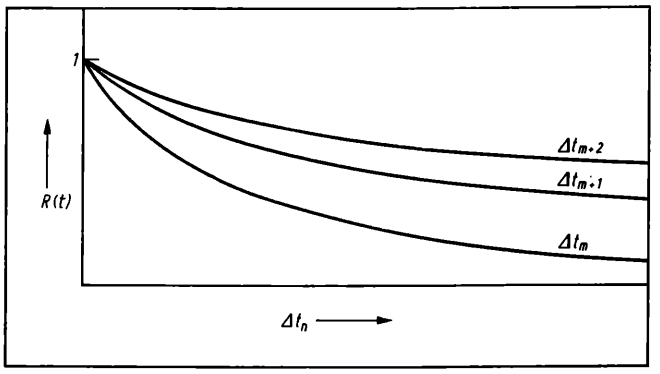


Bild 3. Veränderung der Softwarezuverlässigkeit durch den Prozeß der Fehlerkorrektur

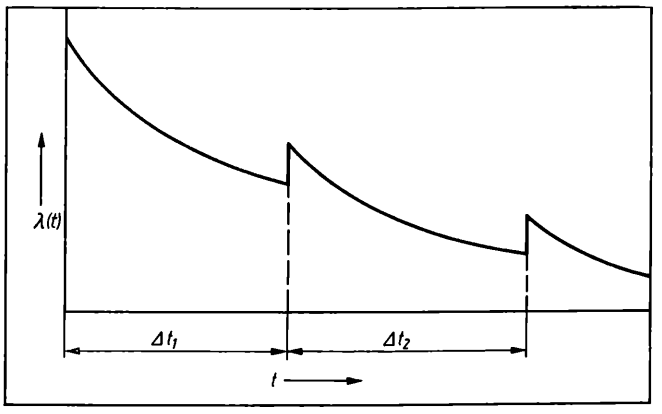


Bild 4. Qualitative Zeitabhängigkeit der Softwareausfallrate unter realen Einsatzbedingungen

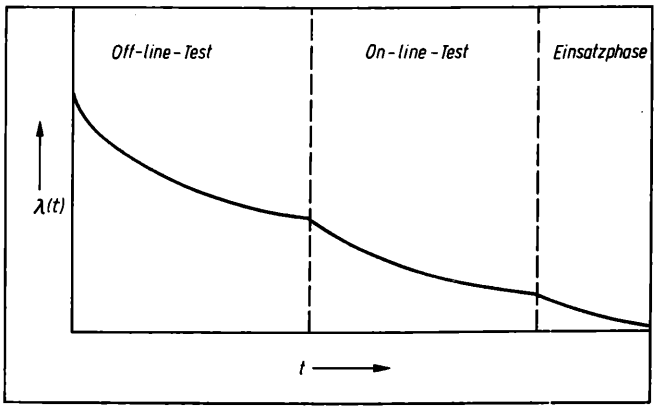


Bild 5. Ausfallrate eines komplizierten Echtzeitprogrammsystems über verschiedenen Test- und Betriebsphasen

ist also theoretisch nicht möglich, auch bei extrem langer Test- bzw. Laufzeit der Software ein mit absoluter Sicherheit völlig fehlerfreies Programm zu haben.

- Die Zeiten, die für das Erkennen der Softwarefehler nach erfolgtem Softwareausfall sowie für die Fehlerkorrektur notwendig sind, können im Vergleich zur Zeit zwischen zwei Softwareausfällen nicht immer vernachlässigt werden.
- Die verschiedenen Arten der Software (Betriebssystem und Applikationssoftware) sollten bezüglich ihrer Zuverlässigkeit getrennt betrachtet werden.

Offensichtlich muß auch die zweite Hypothese zur Modellerstellung modifiziert werden. Softwarefehler in Optimierungsprogrammen wirken sich meist nur auf die Prozeßeffektivität aus, während Fehler in Prozeßstabilisierungs- oder gar Prozeßsicherungsprogrammen zu gefährlichen Prozeßzuständen führen können. Für jede Art von Softwarefehlern sind somit in Abhängigkeit von der Steuerungsaufgabe die Gln. (1) bis (6) getrennt anzuwenden. Darüber hinaus ist es notwendig, die verschiedenen Einsatz- und Testbedingungen der Software beim Erkennen und Beseitigen von Fehlern zu betrachten.

Am Beispiel der Entwicklung von Systemunterlagen für die Prozeßoptimierung parallelgeschalteter chemischer Reaktoren in einem Chemiekombinat sei dieses Problem erläutert. Im Bild 5 ist dargestellt, wie $\lambda(t)$ sich über die verschiedenen Test- und Betriebsphasen der Applikationssoftware entwickelt ($\lambda(t)$ wurde geglättet).

Bild 5 drückt die Tatsache aus, daß in jeder Test- bzw. Betriebsphase nur bestimmte Fehlerarten festgestellt und korrigiert werden können. Die λ-Werte für die Phasen, die der Einsatzphase vorgelagert sind, geben im Prinzip die Fehlerrate an, die auftreten würde, wenn das System zu dem bestimmten Zeitpunkt zum Einsatz käme. Es können daraus wichtige Schlußfolgerungen für eine effektive Technologie bei der Software-Projektierung gezogen werden.

Bei der Modellierung der Softwarezuverlässigkeit für die Einsatzphase bleibt die Beschreibung der Zeitabhängigkeit der Ausfallrate λ zwischen zwei auftretenden Softwarefehlern problematisch. Strenggenommen hängt die Ausfallrate eines Programmsystems in der Einsatzphase nur von der im System verbliebenen Fehleranzahl, ihrer Gefährlichkeit und den Einsatzbedingungen ab.

Die Zeitabhängigkeit von λ zwischen zwei aufgefundenen Fehlern basiert nun darauf, daß erstens die Eingangsdaten über den gesamten Eingaberaum weder zufällig noch gleichverteilt sind, sondern entsprechend den konkreten Prozeßbedingungen bestimmte Gebiete des Eingaberaumes bevorzugt belegt werden und somit andere Eingabekombinationen weniger häufig auftreten und zweitens sich die Einsatzbedingungen ändern. Hier ist auch der Unterschied zur Testphase zu sehen.

Sowohl in dem oben erwähnten Einsatzbeispiel als auch bei der Entwicklung eines Softwarepaketes für den Einsatz von Mikroprozeßrechnern für die Prozeßsicherung konnte die Ausfallrate λ während der Off-line-Testphase befriedigend mit Gl. (3) beschrieben werden. Für die On-line-Testphase bzw. die Einsatzphase ergab folgende Modellgleichung jeweils gute Übereinstimmung mit der praktischen Ausfallrate:

$$\lambda(t) = K(N - n)\,\Delta t_n^{-\alpha}; \quad -1 < \alpha < 1\,. \tag{7}$$

Die Wahrscheinlichkeitsdichte für Δt_n ergibt sich aus

$$P\{\Delta t_n\} = \frac{K(N-n)}{1-\alpha}\,\Delta t_n^{-\alpha}\,e^{-\frac{K(N-n)}{1-\alpha}\,\Delta t_n^{1-\alpha}}\,. \tag{8}$$

Zur Abschätzung der Parameter N, K und α nach dem Maximum-Likelihood-Prinzip gelten folgende Gleichungen:

$$\sum_{n=1}^{m} \frac{1}{N-n} - \frac{K}{1-\alpha} \sum_{n=1}^{m} \Delta t_n^{1-\alpha} = 0 \tag{9}$$

$$\frac{m}{K} - \frac{N}{1-\alpha} \sum_{n=1}^{m} \Delta t_n^{1-\alpha} + \frac{1}{1-\alpha} \sum_{n=1}^{m} n\,\Delta t_n^{1-\alpha} = 0 \tag{10}$$

$$m(1-\alpha) - \sum_{n=1}^{m} \ln \Delta t_n - \sum_{n=1}^{m} \frac{K(N-n)}{(1-\alpha)^2} \times$$

$$\times\,[(1-\alpha)\Delta t_n^{-\alpha} + \Delta t_n^{1-\alpha}] = 0\,. \tag{11}$$

Das vorgeschlagene Modell (7) ist bedeutend flexibler als Gl. (3).

Die bisher vorliegenden Erfahrungen zeigen, daß die Charakteristika von $\lambda(t)$ für unterschiedliche Prozeßsteuerungsprogramme stark voneinander abweichen können und daß der Parameter α im wesentlichen von den Einsatzbedingungen bestimmt wird.

(Fortsetzung auf Seite 694 unten)

Dr.-Ing. *R. Boneß* und Dipl.-Ing. *U. Doehl*, Dresden[1])

Zu Problemen der numerischen Lösung „steifer" Differentialgleichungssysteme für regelungstechnische Aufgabenstellungen

IA 1.1.3.0.

0. Einleitung

Um das dynamische Verhalten von Regelstrecken zu analysieren, können die Gleichungen des mathematischen Modells [9] unter Berücksichtigung von Anfangsbedingungen gelöst werden [10]. Dynamische Modelle bestehen aus Differentialgleichungen (DGL), die im allgemeinen auf einem Analog- oder Digitalrechner zu lösen sind.

Die Analogrechentechnik bietet den Vorteil, daß einfache DGL unkompliziert und relativ schnell lösbar sind, von Nachteil sind die Beschränkungen bez. des Programm- und Problemumfanges sowie der Rechengenauigkeit. Ist das Lösungsverhalten der zu modellierenden DGL durch stark unterschiedliche Zeitkonstanten bestimmt, so ergeben sich in der Regel Schwierigkeiten bei der Maßstabswahl und der Parametereinstellung. DGL-Systeme mit solchen Lösungseigenschaften werden als „steif" bezeichnet. Am Digitalrechner ist bei entsprechender Wahl der Wortlänge die erreichbare Genauigkeit der Lösung wesentlich höher, die die bekannten digitalen Simulationsverfahren bei hinreichend kleinen Schrittweiten erzielen. Dabei steigt bei praktischen Beispielen die Rechenzeit für ein gegebenes Intervall an, und Echtzeitanforderungen können u. U. nicht erfüllt werden [6].

Es besteht die Aufgabe, numerische Integrationsverfahren zu entwickeln, die geeignet sind, die Lösung sogenannter „steifer" DGL, die oftmals mit herkömmlichen Algorithmen nicht berechenbar sind, unter Berücksichtigung von Stabilitäts-, Genauigkeits- und Rechenzeitanforderungen zu ermitteln. Dazu sind, ausgehend vom Verfahren der gewichteten Trapezregel, das sich durch gute Stabilitätseigenschaften auszeichnet, die Methoden der Filterung, der exponentiellen Anpassung und der Extrapolation bei Benutzung von festen Schrittweiten untersucht worden. Zusammen mit einem Programm, in dem die Trapezregel durch eine unkonventionelle Schrittweitesteuerung ergänzt wurde, sind diese Verfahren in einem PL/1-Programmpaket zusammengestellt und ausführlich getestet worden. Sie können als Funktionsunterprogramme für eine Fachsprache zur digitalen Simulation verwendet werden [7]. Als Ausgangspunkt sei folgendes gewöhnliches DGL-System erster Ordnung (Zustandsgleichungssystem) gegeben:

$$\dot{\boldsymbol{x}}(t) = \boldsymbol{F}(\boldsymbol{x}(t), \boldsymbol{u}(t), t) \quad \boldsymbol{x}(a) = \boldsymbol{\alpha};\ t \in \boldsymbol{I} = [a, b] \subset \boldsymbol{R} \tag{1}$$

wobei $\boldsymbol{F}$ eine Abbildung des Typs $\boldsymbol{F}: \boldsymbol{D} \times \boldsymbol{U} \times \boldsymbol{I} \subset \boldsymbol{R}^n \times \boldsymbol{R}^m \times \times \boldsymbol{R} \rightarrow \boldsymbol{R}^n$ ist. n bezeichnet die Dimension des Zustandsvektors, und m ist die Anzahl der Steuergrößen. Im folgenden wird $\boldsymbol{u}(t)$ nicht explizit berücksichtigt und Gl. (1) zu

$$\dot{\boldsymbol{x}}(t) = \boldsymbol{F}(\boldsymbol{x}(t), t) \tag{2}$$

vereinfacht. Zur numerischen Berechnung der Lösung der Anfangsaufgabe (1) mit Hilfe eines Digitalrechners, d. h. zur numerischen Integration, haben sich Diskretisierungsverfahren bewährt. Die notwendigen Definitionen und Erläuterungen zu den Begriffen Integrationsintervall $\boldsymbol{I}$, Anzahl der Teilintervalle N_h, Näherungslösung $\boldsymbol{X}_\mathrm{h}(t)$, globaler Diskretisierungsfehler $\boldsymbol{r}_\mathrm{h}(t)$, Konvergenzordnung p sowie Stabilität eines Diskretisierungsverfahrens sind in der entsprechenden Literatur, z. B. [1] [3] und [5], zu finden, so daß auf ihre Darstellung verzichtet werden kann. Als Bezugspunkt für die nachfolgenden Ausführungen sei jedoch das Stabilitätsgebiet eines derartigen Verfahrens angegeben, das den Bereich in der komplexen Ebene für die Variable $q = h \cdot \lambda$ dargestellt, in dem das Verfahren stabil ist. Für die Einschrittverfahren kann man folgende Beziehung ansetzen:

$$X_{j+1} = G(q)\, X_\mathrm{j}, \quad q = h \cdot \lambda$$

so daß sich das Stabilitätsgebiet zu

$$\boldsymbol{Q} := \{q: |G(q)| < 1\} \tag{3}$$

ergibt.

1. Problemstellung

Bei mathematischen Modellen technischer Regelstrecken treten häufig DGL-Systeme mit stark unterschiedlichen Zeitkonstanten (Eigenwerte λ_i der Matrix $\partial F/\partial x$), sogenannte „steife" DGL, auf, zu deren Lösung spezielle Integrationsverfahren notwendig sind. Auf diese „steife" DGL führen z. B. Modelle für

- Kinetik reagierender Gase,
- exotherme chemische Reaktionen in Röhrenreaktoren,
- Vorgänge in Wärmetauschern,
- Destillationsvorgänge,
- elektrische Netzwerke.

Man kann von einem „steifen" System von gewöhnlichen DGL sprechen, wenn

$$\max_i |\lambda_\mathrm{i}| \,/\, \min_i |\lambda_\mathrm{i}| \gg 1$$

ist. Die betragsmäßig großen Eigenwerte der Systemmatrix bestimmen die verfahrensspezifische Stabilitätsbegrenzung, für das explizite Euler-Verfahren gilt z. B. nach Gl. (3)

$$h\lambda_\mathrm{i} \leqq 2, \quad i = 1(1)\, n, \tag{4}$$

und legen somit die obere Grenze für die Schrittweitenwahl fest, so daß z. B. für Gl. (4) gilt:

$$h \leqq \left| \frac{2}{\lambda_\mathrm{max}} \right|.$$

Daraus ergibt sich, daß die „schnellen" Lösungskomponenten hierbei die Rechengeschwindigkeit bestimmen, wenn sie aufgrund praktischer Bedingungen nicht vernachlässigt werden können. Derartige Bedingungen ergeben sich, wenn diese „schnellen" Übergangsvorgänge z. B. das Gütekriterium bei Optimierungsproblemen maßgeblich bestimmen oder ihr Verlauf wesentlich Einfluß auf die weiteren Vorgänge ausübt. Die Stabilitätsbedingung Gl. (4) zwingt zur Benutzung relativ kleiner Schrittweiten über u. U. sehr große Integrationsintervalle, die durch die Übergangsvorgänge „langsamer" Lösungskomponenten bedingt sind. So kann die Rechenzeit für die numerische Integration „steifer" DGL sehr stark ansteigen, und es sind solche Verfahren zu entwickeln, die sich durch ein großes Stabilitätsgebiet $\boldsymbol{Q}$ und eine ausreichende Genauigkeit auszeichnen.

2. Gewichtete Trapezregel

Nachfolgend werden die Integrationsverfahren zur Lösung der skalaren ($n = 1$) DGL (2) dargestellt; ihre Anwendung auf mehrdimensionale DGL-Systeme ist daraus ableitbar. Als Ausgangspunkt wurde die gewichtete Trapezregel gewählt, ein Diskretisierungsverfahren zur numerischen Integration, die sich

[1]) Mitteilung aus der TU Dresden, Bereich Regelungstechnik und Prozeßsteuerung der Sektion Informationstechnik.

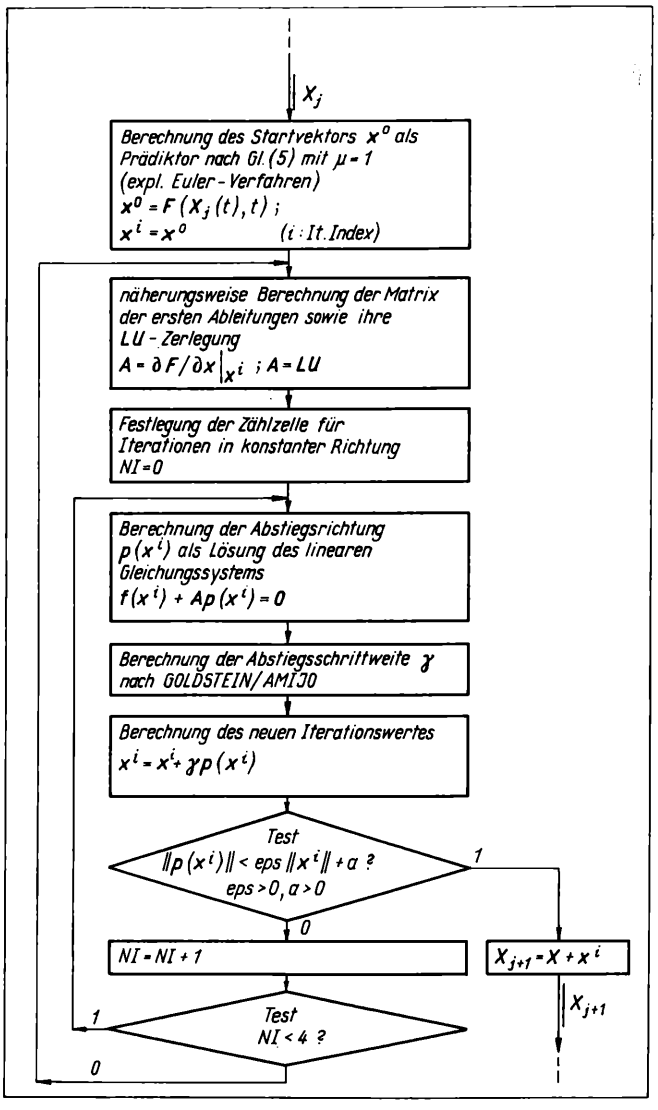


Bild 1. Ablaufplanausschnitt zum Newton-Verfahren

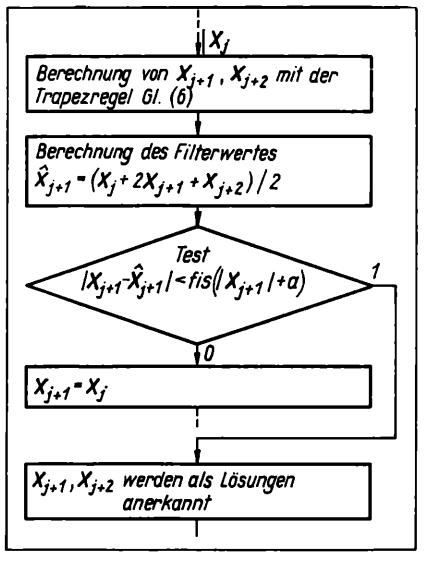


Bild 2. Ablaufplanausschnitt zur Filtermethode

nach [8] mit

$$\dot{X}_j = F(t_j, X_j); \quad j = 0(1)\,n, \quad t_j \in I$$

in der Form

$$X_{j+1} = X_j + h[\mu \dot{X}_j + (1 - \mu)\,\dot{X}_{j+1}], \quad \mu \in [0, 1] \tag{5}$$

angeben läßt. Für die Wichtung $\mu = 0{,}5$ hat das Verfahren

$$X_{j+1} = X_j + [\dot{X}_j + \dot{X}_{j+1}] \cdot h/2 \tag{6}$$

die Konvergenzordnung $p = 2$, für $\mu \neq 0{,}5$ ist $p = 1$.

Tafel 1. Verfahren zur Anwendung der gewichteten Trapezregel für die numerische Integration „steifer" DGL

Verfahren	Wirkungsweise
automatische Schrittweitesteuerung	Ermittlung von $X_h(t)$, $X_{h/2}(t)$ durch zusätzliche Parallelrechnung mit halber Schrittweite; $\varepsilon(t) = X_h(t) - X_{h/2}(t)$; $\|\varepsilon(t)\| > a \rightarrow h := h/c$; $\|\varepsilon(t)\| < a/b \rightarrow h := hc$; ($a, b, c$ positive Konstanten, $a \ll 1, b > 1, c > 1$)
Filtermethode	jeweils zwei Integrationsschritte und Mittelwertbildung derart, daß $\hat{X}(t) = (X(t-h) + 2X(t) + X(t+h))/4$; wenn $\|\hat{X}(t) - X(t)\| <$ Fehlergrenze, werden $X(t)$, $X(t+h)$ anerkannt
exponentielle Anpassung	Berechnung der Wichtung μ für Gl. (5) vor Beginn jeder Integrationsaufgabe derart, daß für einen Übergangsvorgang kein Verfahrensfehler auftritt
Extrapolationsmethode	Verdopplung der Konvergenzordnung der Trapezregel durch Parallelrechnung mit halber Schrittweite und Linearkombination der erhaltenen Werte $X(t) = X_{h/2}(t) + (X_{h/2} - X_h(t))/3$

Das Stabilitätsgebiet Q (Gl. (3)) der mit $\mu = 0{,}5$ gewichteten Trapezregel überdeckt die offene linke Halbebene:

$$Q = \{q: \mathrm{Re}(p) < 0\}\,.$$

Dieser Bereich ist identisch mit dem komplexen Gebiet der Eigenwerte stabiler DGL. Für die Trapezregel ergibt sich

$$G(q) = \frac{1 + q/2}{1 - q/2}, \tag{7}$$

woraus ersichtlich ist, daß das Verfahren bei großen Schrittweiten h und betragsmäßig großen, reellen Eigenwerten λ_i zu Oszillationen der numerischen Lösung führt. Deshalb sind bei der Integration „steifer" DGL mit der Trapezregel weitere Maßnahmen, z. B. zur Unterdrückung auftretender Oszillationen, notwendig (Tafel 1).

Für die praktische Anwendung der gewichteten Trapezregel muß die Beziehung (5) als nichtlineare algebraische Gleichung gelöst werden. Zur Berechnung von

$$\Delta X_{j+1} = X_{j+1} - X_j$$

wird Gl. (5) wie folgt umgeschrieben:

$$f(\Delta X_{j+1}) = \Delta X_{j+1} - h[\mu F(t_j, X_j) + (1 - \mu)\,F(t_j + h, X_j + \Delta X_{j+1})]\,,$$

so daß sich X_{j+1} als Lösung der Gleichung

$$f(\Delta X_{j+1}) = 0 \tag{8}$$

ergibt. Dazu wird ein Abstiegsverfahren zur iterativen Lösung nichtlinearer Gleichungssysteme herangezogen, das bei linearen DGL in einem Schritt konvergiert. Bei der numerischen Integration mit der gewichteten Trapezregel sind große Schrittweiten aufgrund seiner Stabilitätseigenschaften möglich und werden zur Erhöhung der Integrationsgeschwindigkeit auch angestrebt, so daß das verwendete Abstiegsverfahren von jedem beliebigen Startpunkt aus die Lösung „finden" muß, d. h., es muß konvergent sein. Das in [2] ausführlich beschriebene gedämpfte Newton-Verfahren erfüllt diese Anforderungen (Bild 1).

3. Filtermethode

Um die Oszillationen der Näherungslösung X, die bei der numerischen Integration „steifer" DGL mit der gewichteten Trapezregel (6) entstehen können, zu glätten, kann durch die Gleichung

$$\hat{X}_j = (X_{j-1} + 2X_j + X_{j+1})/4; \quad j = 1(1)\,N_h \tag{9}$$

eine Mittelwertbildung (Filterung) vorgenommen werden, deren Ablauf im Bild 2 gezeigt wird.

Die Filtermethode nach Gl. (9) hat die Konvergenzordnung $p = 1$, deshalb ist die Filterung nur bei auftretenden Oszillationen, die die Lösung verfälschen, anzuwenden. Daher wird die Filterung ständig überprüft und die Mittelwertbildung abgebrochen, wenn ihr Einfluß relativ klein ist, d. h. nahezu keine Oszillationen auftreten. Die Filterschranke fis ist so zu wählen, daß nur betragsmäßig große Schwingungen gefiltert werden, um dann auf dem restlichen Integrationsintervall die höhere Konvergenzordnung der gewichteten Trapezregel (6) zu nutzen. Das entwickelte Programm FILTER, das das beschriebene numerische Integrationsverfahren beinhaltet, wurde anhand von zahlreichen Beispielaufgaben mit qualitativ unterschiedlichen Lösungseigenschaften getestet [2]. Dabei zeigte es sich, daß die Filterschranke zweckmäßig in der Größenordnung der Schrittweite

$$\text{fis} \in [h/10,\ 10h]$$

zu wählen ist. Je kleiner die Schranke ist, desto mehr gefilterte Integrationsschritte werden ausgeführt, so daß sich die Fehlerbeträge infolge der niedrigen Ordnung der Filtermethode vergrößern. Für große fis finden nur wenige oder keine Filterungen statt. Verglichen mit den Ergebnissen einer ungefilterten Berechnung sind die gefilterten Werte der ersten Schritte genauer als die der oszillierenden Lösung, deren Fehler jedoch schneller abfallen als die der gefilterten Lösungen. An einzelnen Beispielen konnte gezeigt werden [2], wie durch die Anwendung der Filtermethode, die für eine gegebene obere Beschränkung des relativen Fehlers der Lösung gegenüber der ungefilterten Berechnung mit größeren Schrittweiten arbeiten kann, Rechenzeit einzusparen ist.

4. Exponentielle Anpassung

Die gewichtete Trapezregel (5) ist für $\mu \in [0, 0.5]$ absolut stabil. Da die Lösungskomponenten „steifer" Systeme, deren betragsmäßig größte Eigenwerte λ_i gewöhnlich $|h \cdot \lambda_i| \gg 1$ ergeben, zu Oszillationen neigen, ist es sinnvoll, das Verfahren an diese Lösungskomponenten exponentiell anzupassen. Ausgehend von Gl. (5) gilt für eine derartige Anpassung nach [8]:

$$e^{q_0} = G(q_0, \mu); \quad G(q, \mu) = \frac{1 + \mu q}{1 - (1 - \mu) q}; \quad q_0 = h \cdot \lambda_0, \tag{10}$$

d. h., mit gegebener fester Schrittweite h und einer reellen Eigenwertvorgabe λ_0 wird die Trapezregel mit Hilfe der Wichtung μ angepaßt. Aus Gl. (10) ergibt sich

$$\mu = (1 - e^{q_0}(1 - q_0)) / (q_0(e^{q_0} - 1)). \tag{11}$$

Durch die exponentielle Anpassung bleiben die Stabilitätseigenschaften der Trapezregel erhalten, jedoch die Konvergenzordnung beträgt nur $p = 1$.

Das erstellte Programm EXPAN kann somit zur numerischen Integration „steifer" DGL herangezogen werden, wenn die Eigenwerte λ_i der Matrix $\partial F/\partial x$ bekannt sind. Vor Beginn der Integration wird nach Gl. (11) die Wichtung μ der Trapezregel (5) berechnet, siehe Bild 3.

Die Lösungen der Beispielaufgaben [2] zeigen, daß sich dieses Verfahren dafür eignet, auf einen einzelnen „schnellen" Vorgang angepaßt zu werden, so daß jener entsprechend der verwendeten Dezimalstellenanzahl exakt berechnet wird. Dies geschieht unabhängig von der verwendeten Schrittweite, die nur noch in Abhängigkeit von den „langsameren" Lösungskomponenten gewählt wird. So kann gegenüber den anderen Methoden bei entsprechenden Aufgaben die Rechenzeit wesentlich verkürzt werden.

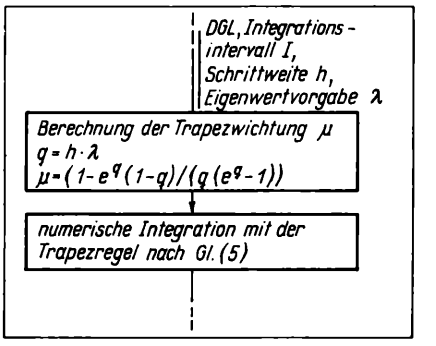


Bild 3. Ablaufplanausschnitt zur exponentiellen Anpassung

5. Extrapolationsmethode

Es besteht die Aufgabe, die Konvergenzordnung der gewichteten Trapezregel (6) durch Parallelrechnung mit halber Schrittweite und Linearkombination der erhaltenen Werte zu erhöhen. Für den globalen Diskretisierungsfehler $\boldsymbol{r}_h$ der Trapezregel (6) gilt:

$$\boldsymbol{X}_h(t) - \boldsymbol{x}(t) = \boldsymbol{r}_h(t)\, h^2 + \boldsymbol{0}(h^4),$$

$$\boldsymbol{X}_{h/2}(t) - \boldsymbol{x}(t) = \boldsymbol{r}_h(t)\, (h/2)^2 + \boldsymbol{0}(h^4), \qquad t \in \boldsymbol{I}.$$

Aus dem Ansatz der Extrapolationsmethode

$$\boldsymbol{X}(t) = \boldsymbol{X}_{h/2}(t) + a(\boldsymbol{X}_{h/2}(t) - \boldsymbol{X}_h(t)) \tag{12}$$

wird die Konstante a derart bestimmt, daß sich eine maximale Ordnung des Verfahrens ergibt. Für $a = 1/3$ hat die Extrapolationsmethode (12) die Ordnung $p = 4$, sie ist jedoch nicht mehr absolut stabil [4] (Bild 4). Das Programm EXTRAPOL kann zur Berechnung „steifer" DGL eingesetzt werden, wenn deren Lösungen nicht oszillieren. Dieses Verhalten resultiert aus dem kleineren Stabilitätsgebiet des Verfahrens gegenüber der Trapezregel (6). Anhand einzelner Beispielaufgaben konnte gezeigt werden [2], daß das Verfahren, verglichen mit den Berechnungen der Filtermethode, kleinere Schrittweiten benötigt, um stabile Lösungen zu ermitteln. Mit Hilfe des globalen Diskretisierungsfehlers läßt sich die Konvergenzordnung $p = 4$ nachweisen. Es wurden mit diesem Verfahren die höchsten Genauigkeiten bei den Lösungskomponenten erreicht, für deren Eigenwerte λ_i die Schrittweite h so gewählt worden ist, daß $|h \cdot \lambda_i| \ll 1$ gilt. Die Extrapolationsmethode weist gegenüber den anderen Verfahren die längsten Rechenzeiten auf.

6. Entwurf einer unkonventionellen automatischen Schrittweitesteuerung

Bei der Programmentwicklung des Integrationsverfahrens nach der gewichteten Trapezregel (6) wurde untersucht, ob sich die

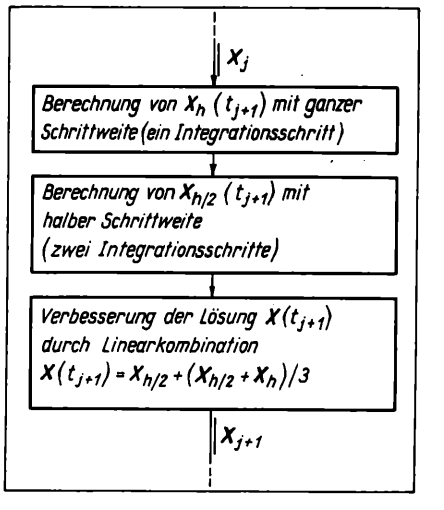
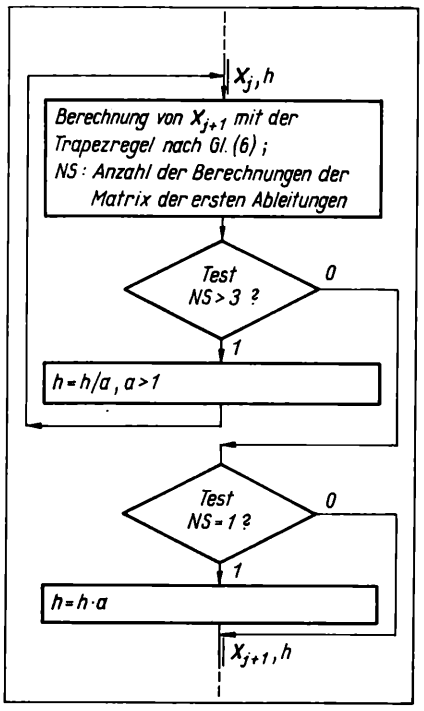


Bild 4. Ablaufplanausschnitt zur Extrapolationsmethode

Schrittweite h in Abhängigkeit von der Iterationsanzahl zur Lösung des nichtlinearen Gleichungssystemes (8) des vorhergehenden Integrationsschrittes sinnvoll verändern läßt, um eine automatische Schrittweitesteuerung zu erhalten, die nicht durch ständige Parallelrechnung mit halber Schrittweite realisiert wird. Den wesentlichen Abschnitt aus dem Programm AUTO zeigt Bild 5. Die Schrittweite h ist in Abhängigkeit von der Aufgabenstellung nach oben und unten zu begrenzen. Für lineare DGL ist diese Vorgehensweise nicht sinnvoll, da die Gl. (8) jeweils in einem Schritt berechnet wird und somit die Schrittweite h bis zu ihrer oberen Grenze erhöht wird. Bei entsprechenden Beispielaufgaben führte dies zu großen Fehlern und oszillierenden Lösungen [2]. Die weitere Anwendung dieses Programmes zeigte, daß es die Werte stationärer Lösungen schnell und genau berechnen kann, wenn die Schrittweite h optimal nach oben begrenzt ist. Für stark nichtlineare DGL ermittelt das Programm AUTO auch die Übergangsvorgänge mit praktisch guten Genauigkeiten (relativer Fehler 1%).

Bild 5. Ablaufplanausschnitt zur Schrittweitesteuerung



Zusammenfassung

Zur digitalen Simulation von „steifen" DGL wurden vier Integrationslogarithmen, ausgehend von der gewichteten Trapezregel, abgeleitet und die entsprechenden PL/1-Programme entwickelt. Für die Berechnung eines Integrationsschrittes mit der gewichteten Trapezregel wird das gedämpfte Newton-Verfahren modifiziert benutzt, das auch für die Verwendung großer Schrittweiten eine hohe Programmsicherheit gewährleistet, so daß Wiederholungen dieses Schrittes für die Verfahren mit fester Schrittweite nicht notwendig werden.
Die Eigenschaften der auf der Grundlage der beschriebenen vier Verfahren entwickelten Programme sind noch einmal als abschließender Vergleich in Tafel 2 zusammengefaßt.
Die Auswahl eines bestimmten Verfahrens und dessen optimale Arbeitsparameter setzt numerische Experimente zur Lösung einer gegebenen Aufgabe voraus. Eine gute Flexibilität jedes einzelnen Programmes ist durch die Verwendung 16stelliger Dezimalgleitkommazahlen gegeben. Die Untersuchungen an einem Programm mit nur 6stelliger Berechnung haben gezeigt, daß es für die gestellten Aufgaben nicht geeignet ist. Alle Programme sind in [2] so dokumentiert, daß sie von Nutzern, die bereits Erfahrungen mit der Sprache PL/1 besitzen, angewendet werden können. Die Programme und entsprechende Beispielrechnungen, die auf dem Rechner ES 1040 durchgeführt wurden, stehen bei den Verfassern zur Verfügung.

Tafel 2. Zusammenfassende Einschätzung der erstellten Programme

Programmname (Basisverfahren, Konvergenzordnung)	Vorteile gegenüber der Trapezregel	Nachteile
FILTER (Gl. (6), Gl. (9), $p = 1, p = 2$)	gesteuerte Filterung zur Unterdrückung auftretender Oszillationen → Rechenzeiteinsparung	höherer Rechenaufwand und geringere Konvergenzordnung während der „gefilterten" Integrationsschritte
EXPAN (Gl. (5), Gl. (11), $p = 1$)	exakte Berechnung einer Lösungskomponente → Wahl der Schrittweite unabhängig von dieser → u. U. große Rechenzeiteinsparung	der zur Anpassung vorgesehene Eigenwert der Systemmatrix muß genau bekannt sein
EXTRAPOL (Gl. (6), Gl. (12), $p = 4$)	hohe Konvergenzordnung → hohe Rechengenauigkeit	Einschränkungen bez. der Stabilität zwingen zu relativ kleinen Schrittweiten, ständige Parallelrechnung mit halber Schrittweite → hoher Rechenaufwand (große Rechenzeiten)
AUTO (Gl. (6), $p = 2$)	Steuerung der Schrittweite mit Hilfe der Anzahl von Berechnungen der Abstiegsrichtungen im Newton-Verfahren → keine Parallelrechnungen → höhere Rechengeschwindigkeit geeignet für Berechnungen stationärer Lösungen	nur stark nichtlineare DGL werden ausreichend genau berechnet

Literatur

[1] *Boneß, R.:* Zweistufige semiimplizite Runge-Kutta-Verfahren zur numerischen Analyse nichtlinearer dynamischer Netzwerke. Wiss. Z. d. TU Dresden, 28 (1979) H. 2, S. 389–392.
[2] *Doehl, U.:* Digitale Simulation von dynamischen Systemen mit stark unterschiedlichen Zeitkonstanten auf der Grundlage der gewichteten Trapezregel. Diplomarbeit, TU Dresden 1980.
[3] *Gear, C. W.:* Numerical Initial Value Problems in Ordinary Differential Equations. New York/London: Academic Press 1971.
[4] *Hall, G., Watt, J. M.:* Modern Numerical Methods for Ordinary Differential Equations. Oxford: Clarendon Press 1976.
[5] *Henrici, P.:* Discrete variable methods in ordinary differential equations. New York: Wiley and Sons 1962.
[6] *Kulick, B. T.; Kraus, M.:* Algorithmus zur digitalen Simulation vermaschter nichtlinearer Systeme. msr 15 (1972) H. 6, S. 208–212.
[7] *Krug, W.:* Ein Modularsystem zur digitalen Simulation und Optimierung kontinuierlicher Systeme. msr 19 (1976) H. 10, S. 347–350.
[8] *Liniger, W.; Willoughby, R. A.:* Efficient integration methods for stiff systems of ordinary differential equations. SIAM Journal Numer. Anal. Philadelphia, 7 (1970) Nr. 1, pp. 47–66.
[9] *Strobel, H.:* Experimentelle Systemanalyse. Berlin: Akademie-Verlag 1975.
[10] *Sydow, A.:* Zur numerischen Analysis des Hybridrechnens bei der Lösung linearer Randwertprobleme. msr 12 (1969) H. 3, S. 107–109; H. 7, S. 288 bis 290.

msr 7636

(Fortsetzung von Seite 690)

Literatur

[1] *Kriesel, W.; Chorchordin, A. W.:* Abschätzung und Sicherung der Software-Zuverlässigkeit in Automatisierungssystemen mit Mikroprozeßrechnern. msr 24 (1981) H. 6, S. 316–320 und H. 7, S. 375–379.
[2] *Shoolmann, M. L.; Bolsky, M. J.:* Types, Distribution and Test and Correction Time for Programming Errors. Proc. of the Internat. Conf. on Software Relaibility, Los Angeles 1975, pp. 347–357.
[3] *Jelinski, J.; Moranda, P. B.:* Applications of a Probability-Based Model to a Code Reading Experiment. IEEE Symposium on Computer Software Reliability, Record of 1973, p. 78.

msr 7628

Industrierobotersteuerungen

4

IA 4.0.5.

Arbeiten

In dieser Hauptbetriebsart wird das Roboterprogramm ausgeführt. Hier werden Unterbetriebsarten, wie

- Automatik (Programm wird automatisch und wiederholt abgearbeitet)
- Einzelschritt (Programm wird schrittweise abgearbeitet; für jeden neuen Programmschritt ist eine Bedienhandlung erforderlich)
- Handbetrieb (Bewegungen und Aktionen des Roboters können durch Handeingabe entsprechender Anweisungen direkt ausgeführt werden)

unterschieden. Die beiden letztgenannten Betriebsarten überdecken sich teilweise mit denen zum Programmtest.

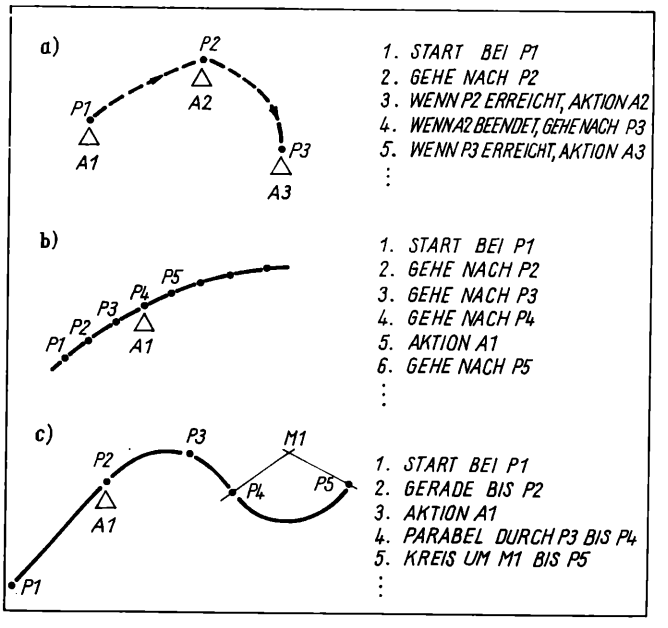
Halt

Bei dieser Betriebsart steht der Industrieroboter still. Sie kann über Programmbefehl oder vom Bedienfeld angewiesen oder aber durch ein externes Signal (Havariegefahr — Not — Halt) herbeigeführt werden.
Programmierung und Bedienung von Industrierobotern werden in einer weiteren Folge dieser Serie ausführlicher behandelt.

1.5. Einteilung von Industrierobotersteuerungen

Die Vielzahl der verschiedenen Arten von Industrierobotern kann nach unterschiedlichen Gesichtspunkten klassifiziert werden [1.5] und [1.6]. Eine Möglichkeit, die vom Einsatzfall ausgeht, ist mit ihren Konsequenzen für die einzusetzenden Steuerungen im Abschn. 1.1. (Bild 1.2) besprochen worden. Nachfolgend sollen zwei Möglichkeiten der Klassifizierung von IR-Steuerungen behandelt werden, die sich auf den Charakter der Bewegungssteuerung und die Programmierungsart beziehen. Diese Einteilungen, die bezüglich der Auslegung einzelner Funktionsgruppen und der Gesamtstruktur Konsequenzen haben, haben sich — wenn auch mitunter mit verschiedener Nomenklatur — allgemein durchgesetzt (z. B. [1.7] [1.8] [1.10] und [1.11]).

Bild 1.10. Klassifikation von Steuerungen nach dem Bewegungsverhalten
a) Punkt-zu-Punkt-CPTP-)Steuerung
b) Multipunkt-(MP-)Steuerung
c) Bahn-(CP-)Steuerung



1.5.1. Einteilung nach dem Bewegungsverhalten

Nach dem Charakter der Bewegungssteuerung werden IR-Steuerungen mit

- Punkt-zu-Punkt-Verhalten (PTP-Steuerungen)
- Bahnverhalten

unterschieden.

Punktsteuerungen gestatten das Abspeichern und sequentielle Anfahren einer Folge diskreter Raumpunkte. Bild 1.10a zeigt dazu eine mögliche Bewegungs- und Aktionsfolge mit Programmbeispiel in umgangssprachlicher Formulierung. Die Bewegungsbahn zwischen den einzelnen Punkten ist nicht definiert, die Achsen fahren dort ohne Funktionszusammenhang. Punktsteuerungen finden vorwiegend für Handhabegeräte und Punktschweißroboter Einsatz (vgl. Abschn. 1.1.).
Die einzelnen Punkte werden auf die Positioniergenauigkeit des Roboters genau angefahren. Erst nach genauer Positionierung auf den programmierten Punkt wird der nächste Befehl aufgerufen. Mitunter ist diese Präzision nicht erforderlich (z. B. beim Umfahren von Hindernissen), und der Zeitverlust für den Positioniervorgang ist eher störend. Für diesen Fall bieten einige PTP-Steuerungen die Möglichkeit der Verwendung von Hilfspunkten (Überschleifen): Dabei wird nach Erreichen einer definierten Umgebung des Hilfspunktes die Bewegung nicht unterbrochen, sondern mit der vorgegebenen Geschwindigkeit zum Folgepunkt weitergefahren. Ist zum Beispiel im Bild 1.10a P2 ein solcher Hilfspunkt (A2 möge entfallen), dann erhält Befehl Nr. 2 die Form 2. GEHE ÜBER HILFSPUNKT P2.
Eine **Steuerung mit Bahnverhalten** gestattet die Programmierung und das Verfahren definierter Bewegungsbahnen mit Funktionszusammenhang der Bewegungen in den einzelnen Achsen. Dafür bestehen zwei Möglichkeiten:

Multipunkt-(MP-)Steuerungen enthalten das Bewegungsprogramm in Form einer dichten Sequenz von Raumpunkten, die in rascher zeitlicher Folge (etwa alle 10 ... 100 ms) an die Lageregler der Achsen ausgegeben werden. Die Trägheit der Antriebssysteme sorgt für ein ruckfreies Verfahren der Achsen, deren Funktionszusammenhang durch den Synchronismus der Vorgaben der achsspezifischen Sollwerte gewährleistet wird. Bild 1.10b veranschaulicht die Vorgänge. Die Aktion A1 wird dabei ausgelöst, nachdem die Koordinatenwerte von P4 an die Lageregler ausgegeben worden sind, und zwar unabhängig davon, ob diese Position bereits erreicht ist oder nicht. Der dadurch auftretende geringe Zeitverzug kann in der Regel in Kauf genommen werden.
Multipunktsteuerungen werden vorwiegend für Farbspritzroboter, aber auch beim Lichtbogenschweißen und bei der Oberflächenbearbeitung (Schleifen, Polieren) eingesetzt. Die Programmierung erfolgt vorwiegend im direkten Teach-in (s. u.). Dem Nachteil des höheren Speicherplatzbedarfes durch das

Abspeichern einer Vielzahl von Raumpunkten kann durch geeignete Verfahren zur Informationsverdichtung bei der Aufnahme und Datendekompression bei der Wiedergabe bis zu einem gewissen Grad begegnet werden.

Bahn-(CP-)Steuerungen gestatten das Verfahren mathematisch definierter Bewegungsbahnen. Bild 1.10c zeigt dazu ein Beispiel. Die Programmierung erfolgt im indirekten Teach-in oder textuell (s. u.). Das Roboterprogramm steht in der im Bild 1.10c angedeuteten Form kodiert im Speicher. Ein Bahnkurvenrechner (Interpolator) ermittelt in Auswertung des jeweiligen Bewegungsbefehls eine Anzahl von Zwischenwerten auf der angewiesenen Bahnkurve und gibt sie entsprechend der programmierten Geschwindigkeit an die Lageregler aus. Typische Einsatzfälle für CP-Steuerungen sind Lichtbogenschweißen, Gußputzen und Entgraten.

1.5.2. Einteilung nach der Programmierungsart

Industrieroboter sind programmierbare Systeme. Je nach Art und Bestimmung des Roboters werden unterschiedliche Programmierungsarten angewendet. Die Wahl der Programmierungsart hängt auch mit dem geforderten Bewegungsverhalten des Industrieroboters zusammen (vgl. Abschn. 1.5.1.) und wirkt sich wesentlich auf die Verarbeitungsstruktur der Steuerung aus. Darüber wird ein gesonderter Beitrag dieser Reihe Aufschluß geben. Hier sollen einige Grundbegriffe erläutert werden:
Generell unterscheidet man:

- manuelle Programmierung
- direkte Teach-in-Programmierung (Playback-Verfahren, walk-through programming),
- indirekte Teach-in-Programmierung (Anfahren und Speichern, lead-through-programming oder einfach nur Teach-in-Programmierung)
- textuelle Programmierung.

Bei dieser Auflistung sind in Klammern Termini angegeben, mit denen die einzelnen Verfahren in der Literatur bezeichnet werden.
Bei der **manuellen Programmierung** wird das Programm durch manuelles Herstellen physikalischer (pneumatisch oder elektrisch) Verbindungen auf einem Verbindungsfeld, einem Steckerfeld oder einer Diodenmatrix erzeugt. Numerische Daten (Positionen, Geschwindigkeiten) können mit kodiert oder aber in einem getrennten Eingabefeld mit Positiometern oder mehrstelligen Ziffernwahlschaltern eingestellt werden. Diese Programmierungsart kommt bei einfachen Handhabegeräten zum Einsatz.
Bei der Programmierung im **direkten Teach-in-Verfahren** wird die Bewegungs- und Aktionsfolge durch direktes Führen des Roboters (also in Echtzeit) eingegeben. Die Steuerung tastet dabei in rascher zeitlicher Folge die Achspositionen und die ausgeführten Aktionen ab und erzeugt selbständig das Programm, das so die im Bild 1.10b dargestellte Form hat. Organisatorische Befehle werden nachträglich am Bedienfeld eingegeben. Das Führen des Roboters kann entweder bei freigeschalteten (hydraulischen) Antrieben am Handpunkt (Bild 1.11) oder über ein das Grundgerät kinematisch nachbildendes Hilfsgerät (Phantom) erfolgen. Durch unterschiedliche Taktung ist neben der zeitechten auch eine proportional zeitgeraffte oder zeitgedehnte Wiedergabe des Programms möglich. Die direkte Teach-in-Programmierung ist für Multipunktsteuerungen typisch und kommt vorwiegend beim Beschichten zum Einsatz.
Bei der **indirekten Teach-in-Programmierung** werden die erforderlichen Raumpositionen im Handbetrieb durch die Achsantriebe angefahren und auf einen speziellen Befehl abgespeichert. Die Eingabe der Zeit- bzw. Geschwindigkeitsdaten, der Bewegungs-, Aktions- und Programmablaufbefehle erfolgt am Bedienfeld oder einem abgesetzten Programmierfeld (Bild 1.12).

Bild 1.11. Direkte Teach-in-Programmierung

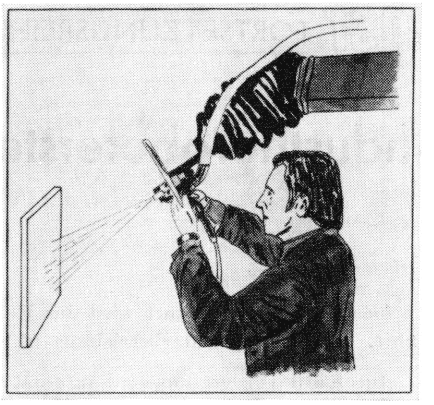
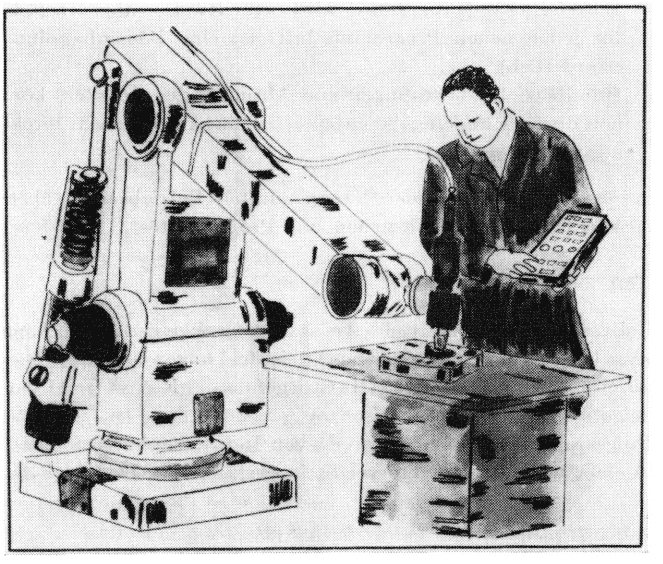


Bild 1.12. Indirekte Teach-in-Programmierung ▼



Im indirekten Teach-in können PTP und Bahnsteuerungen programmiert werden. Typische Einsatzfälle sind das Punkt- und Lichtbogenschweißen, etwas anspruchsvollere Maschinenbedienung, Gußputzen und Entgraten.
Bei der textuellen Programmierung wird das vollständige Programm in einer roboterspezifischen oder einer problemorientierten Programmiersprache notiert und geschlossen in den Arbeitsspeicher der Robotersteuerung eingegeben. Das Einfahren des Programms geschieht wie bei den anderen Programmierverfahren vor Ort im Mensch-Maschine-Dialog. Diese Programmierungsart befindet sich, insbesondere unter dem Einfluß der modernen Mikro- und Kleinrechentechnik, stark in Entwicklung und ist derzeit vorwiegend für komplexe Arbeitsaufgaben, z. B. in der Montage, vorgesehen.

Literatur zu Abschn. 1.

[1.1] *Stute, G.:* Steuerungstechnik. Westberlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1981.
[1.2] *Becker, H.; Leusch, G.:* Freiprogrammierbare Steuerung für Industrieroboter. Siemens-Zeitschrift **51** (1977) H. 6, S. 463–467.
[1.3] *Haferkorn, P.; Schwarz, W.:* Steuerungen für Industrieroboter. Feingerätetechnik **30** (1981) H. 7, S. 9–13.
[1.4] *Natschew, G.:* Steuerungsstrukturen adaptiver Roboter. Vortrag auf der Internationalen Konferenz (RGW) „Probleme der Steuerung von Industrierobotern", Varna/VR Bulgarien, 26. bis 31. Oktober 1981.
[1.5] *Spur, G.; Auer, B. H.; Sinning, H.:* Industrieroboter – Steuerung, Programmierung und Daten von flexiblen Handhabungseinrichtungen. München/Wien: Carl Hanser Verlag 1979.
[1.6] *Volmer, J.:* Industrieroboter. Berlin: VEB Verlag Technik 1981.
[1.7] *Sandner, W.:* Steuerungen für Industrieroboter – Möglichkeiten zur Systematisierung nach Steuerungsart und Programmierverfahren. Maschinenbautechnik **29** (1980) H. 7, S. 301–305.
[1.8] *Blume, Ch.; Dillmann, R.:* Struktur und Programmierung von Industrierobotern, Teil 1 und 2. VDI-Zeitschrift **122** (1980) Nr. 5, S. 159–165, und Nr. 6, S. 231–239.
[1.9] *Haferkorn, P.; Schwarz, W.:* Steuerungskonzepte für Industrieroboter msr **24** (1981) H. 5, S. 286–288.
[1.10] *Swaczina, K.:* Industrieroboter. Elektronik (1981) H. **24**, S. 78–84.
[1.11] *Schraft, R. D.; Schiele, G.:* Industrieroboter zum Lackieren. I-Lack/50 (1982) H. 2, S. 65–73.

msr 7680 Prof. Dr. sc. techn. *W. Schwarz*
IH Mittweida

(wird fortgesetzt)

Senkung der Kosten bei der Entwicklung von Handhabegeräten und Sondermaschinen durch Einsatz preisgünstiger programmierbarer elektromechanischer Steuerungen

IA 4.5.

Trotz des hohen Entwicklungsstandes der Elektronik werden zur Steuerung von Automaten mittlerer Größenordnung vielfach elektromechanische oder pneumatische Steuerungen eingesetzt [1]. Diese Steuerungen werden problemabhängig entwickelt und in den Abteilungen für Rationalisierungsmittelbau der Betriebe gebaut. Das hat folgende Nachteile:

- Die Steuerungen werden meist intuitiv projektiert, d. h., die Anzahl der verwendeten Relais hängt sehr stark vom Erfahrungsschatz des Steuerungsprojektanten ab.
- Der Aufbau solcher Steuerungen ist oft sehr unübersichtlich, so daß die Fehlersuche und Instandsetzung umständlich ist.
- Die Struktur dieser Steuerungen hängt so stark vom Problem ab, daß eine zentrale Vorfertigung bestimmter Teile solcher Steuerungen wenig Sinn hat. Es muß in jedem Fall wieder die gesamte Verdrahtung oft sehr vieler Relais vorgenommen werden.

In der Elektronik und Pneumatik kann man universelle Steuerblöcke [2], Programmsteuerautomaten und speicherprogrammierbare Steuerungen einsetzen. Das sind zentral herstellbare Einrichtungen, die es gestatten, die Verdrahtungs- oder Verschlauchungsarbeit auf ein Minimum zu senken.
Selbst wenn die speicherminimierte Schaltungsprojektierung [3] angewandt wird, benötigt man für eine problemspezifische Relaissteuerung sehr viel Kupfer. Auch aus diesem Grund sollten in der Elektromechanik universelle, programmierbare Programmsteuerautomaten, ähnlich wie in der Pneumatik (SAG 1 und SAG 2) viel stärker eingesetzt und zentral gefertigt werden.
Solche elektromechanischen Programmsteuerautomaten lassen sich sehr einfach mit Hilfe eines Kugelschrittschaltwerkes aufbauen. Zwei Möglichkeiten sollen im folgenden näher erläutert werden:

1. Variante: 40 Takte — 20 Ausgangsbefehle

Für den Aufbau dieser Variante werden ein Kugelschrittschaltwerk 26 × 40 und 8 Relais mit je 6 Wechselkontakten benötigt (Bild 1).
Die Ausgangsbefehle sind bei dieser Ausführung über die Bekugelung der Walze programmierbar.
Jede Längsnut der Walze des Schaltwerkes entspricht einem Zustand der Steuerung. Die Ringnuten 21 bis 26 dienen zur dualen Kodierung der 40 möglichen Zustände. Bei richtiger Ausnutzung der Kontakte der Schalter des Kugelschrittschaltwerkes reichen für die Dekodierung der Zustandsbefehle theoretisch 4 Relais aus. Aufgrund der zum Teil hohen Kontaktanzahl genügen praktisch 8 Relais mit je 6 Wechselkontakten. Unter Verwendung der 40 Ausgänge der Dekordierschaltung, die an die Zustandbuchsen 0 bis 39 angeschlossen sind, wird der Magnet des Schaltwerkes mit Hilfe des Relais c_M geschaltet.
b_{MH} wird gedrückt, wenn sich der Walzentransportstößel des Kugelschrittschaltwerkes hinten befindet.
b_{MV} wird in der vorderen Stellung des Walzentransportes betätigt.

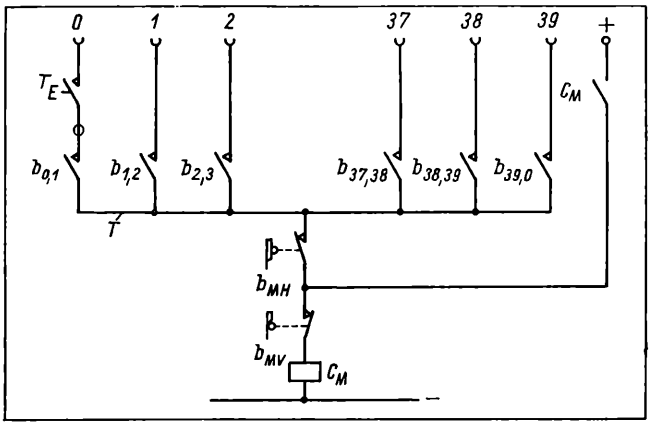


Bild 1. Ansteuerung des Walzentransportes

$b_{0,1}$ bis $b_{39,0}$ sind die Überführungsfunktionen, die den Walzentransport einleiten und damit den nächsten Zustand einschalten. $b_{n,n+1}$ überführt den Zustand n in den Zustand $n + 1$.
Wenn ein Zustand übersprungen werden soll, braucht die Buchse dieses Zustandes nur direkt an die Transportsteckerleiste T angeschlossen zu werden. Auf diese Weise kann der automatische Walzentransport über die nicht benötigten Zustände ausgeführt werden. Das ist immer nötig, wenn die Zahl 40 größer als ein ganzzahliges Vielfaches der Zustandszahl der zu bauenden Steuerung ist.
Die Ringnuten 1 bis 20 des Kugelschrittschaltwerkes werden für die Programmierung der Ausgangsbefehle eingesetzt.
Diese speicherprogrammierbare elektromechanische Steuerung hat folgende Vorteile:

- Die 20 möglichen Ausgangsbefehle können als elektrische oder als pneumatische Signale erteilt werden, da das Kugelschrittschaltwerk mit elektrischen und pneumatischen Schaltern ausgerüstet werden kann.
- Als Unterlage für die Programmierung der Steuerung genügt der Steuerungsablaufplan. Es ist nicht notwendig, eine spezielle Schaltung oder ein besonderes Programm zu entwickeln.
- Die Steuerung kann vom Anwender mit minimalem Arbeitsaufwand durch Bekugeln der Walze und Anschließen der Eingangs- und Ausgangsbefehle mit Hilfe von Steckverbindungen an das spezielle Problem angepaßt werden. Die bei der Herstellung spezieller Relaissteuerungen erforderlichen umfangreichen Lötarbeiten entfallen hier völlig. Dadurch wird teure Handarbeit eingespart und die Funktionssicherheit der Steuerung erhöht.
- Die Steuerung kann 18 Takte mehr abarbeiten als der pneumatische Programmsteuerautomat SAG 2 sowie 14 Ausgangsbefehle mehr erteilen als dieser Automat und läßt sich wesentlich preisgünstiger herstellen.
- Die Steuerung kann von jedem Elektromechaniker aus einem Kugelschrittschaltwerk und 8 Relais aufgebaut werden.
- Da für den Aufbau dieser Steuerung für ein Problem mit einer relativ großen Zustandszahl wesentlich weniger Kupfer benötigt wird als für die Realisierung einer gewöhnlichen

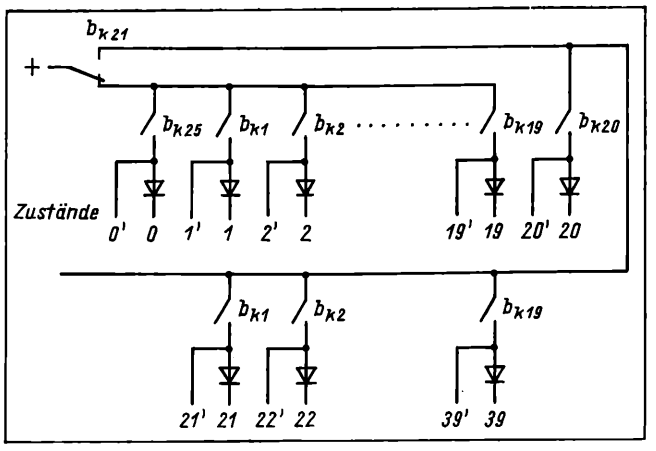


Bild 2. Dekodierschaltung für Variante 2 (Korrektur: In den Stromwegen 0′ ··· 39′ gleiche Dioden wie in 0 ··· 39)

Relaissteuerung, lohnt sich in vielen Fällen ihr Einsatz, auch wenn keine Flexibilität der Steuerung gefordert ist.

- Beim Einsatz einer Walze mit 100 Längsnuten kann die Steuerung nach dem beschriebenen Prinzip auf 100 Zustände erweitert werden. Es werden dann allerdings 7 Spuren für die Zustandskodierung benötigt, so daß für die Ausgangsbefehle dann nur noch 19 Spuren zur Verfügung stehen.
- Da im Sichtfenster des Kugelschrittschaltwerkes jede Stellung der Walze, d. h. jeder Zustand der Steuerung angezeigt wird und keine komplizierten logischen Verknüpfungen zum Einsatz kommen, ist die Fehlersuche bei dieser Steuerung besonders einfach.

Ein Nachteil dieser Steuerung besteht darin, daß man durch die relative Beschränktheit der Ringnutenzahl bei Kugelschrittschaltwerken durch Bekugelung und direkte Erteilung der Ausgangsbefehle mit Hilfe der kugelbetätigten Schalter nur 20 bzw. 19 Ausgangsbefehle erteilen kann. Eine beliebige Anzahl von Ausgangsbefehlen bei maximal 100 Takten kann man mit folgendem einfachem elektromechanischem programmierbarem Programmsteuerautomaten erteilen:

2. Variante: 40 Takte — beliebig viele Ausgangsgrößen

Bei dieser Variante werden die Ringnuten des Kugelschritt-Schaltwerkes nur zur Zustandskodierung verwendet.
Die Programmierung erfolgt durch Parallelschalten der Zustände auf die Ausgangsbefehlsbuchsen. Da die Kugeln im Schaltwerk 2 Wechsler betätigen, benötigt man für die Dekodierung der Zustände bei dieser Variante keine Hilfsrelais.
Man kann dazu etwa die Schaltung nach Bild 2 einsetzen: Die Ausgänge 0 bis 39 werden wie bei der 1. Variante zur Ansteuerung des Magneten verwendet. Dazu kommt die Schaltung nach Bild 1 zum Einsatz. Mit Hilfe der Zustandsgrößen 0′ bis 39′ können die Ausgangsbefehle durch einfache Parallelschaltung im Sinne einer disjunktiven Verknüpfung programmiert werden. Da bestimmte Zustandsüberführungsschalter $b_{n,n+1}$ auch nach Überführung des Zustandes n in den Zustand $n+1$ gedrückt bleiben können, liegt am Eingang dieser Schalter wegen der speziellen Ausführung der Walzentransportschaltung beim Ansteuern eines beliebigen Zustandes kurzzeitig Signal an. Die Weitergabe dieses Störsignals auf die Ausgangsrelais wird mit Hilfe der Dioden verhindert. Die Anpassung dieses Programmsteuerautomaten an das spezielle Problem erfolgt also lediglich mit Hilfe von Steckverbindungen. Die Änderung des Programms ist hier jedoch etwas umständlicher als bei der 1. Variante. Dem steht der Vorteil gegenüber, daß Steuerungen mit sehr vielen Ausgangsbefehlen problemlos realisiert werden können.

Beim Bau von elektromechanischen Steuerungen mit verzweigten Ketten kann die Hauptkette oft günstig mit einem elektromechanischen Programmsteuerautomaten realisiert werden, während kürzere Verzweigungen mit speicherminimierten Relaissteuerungen oder auch mit einfachen Relaistaktketten ausgeführt werden können.
Bei der Steuerung von Handhabemechanismen und Sondermaschinen mit elektromechanischen Mitteln sollte also unbedingt überprüft werden, ob der Einsatz eines elektromechanischen Programmsteuerautomaten gerechtfertigt ist. Es sollte außerdem überprüft werden, ob es nicht sinnvoll ist, einen einfachen elektromechanischen Programmsteuerautomaten für die Lösung mittlerer Automatisierungsprobleme serienmäßig in übersichtlicher und leicht handhabbarer Form herzustellen.

Literatur

[1] *Töpfer, H.; Kriesel, W.:* Funktionseinheiten der Automatisierungstechnik Berlin: VEB Verlag Technik 1977.
[2] *Friedrich, A.:* Entwicklung und Bau von Programmsteuerungen unter Verwendung von universellen Programmsteuerbausteinen oder Standardprogrammen. msr 25 (1982) H. 5, S. 270–272.
[3] *Breier, J.:* Automatisierungstechnik. Praxis–Aufgaben–Lösungen. Berlin: VEB Verlag Technik 1980.

msr 7728 Dipl.-Ing. *A. Friedrich*, Ingenieurschule für Maschinenbau „Fritz Heckert" Schmalkalden.

Thermoelektrisches Meßverfahren zur Bestimmung von Wärmeströmen

IA 4.2.1.2.

0. Einleitung

Wärmestrommessungen sind in vielen Zweigen der Wissenschaft und Technik notwendig. Im Beitrag wird ein Verfahren vorgestellt, das den Wärmestrom möglichst einfach und mit geringem Aufwand thermoelektrisch ermittelt. Hierzu wird künstlich ein Wärmestrom so erzeugt, daß der zu messende Wärmestrom kompensiert und durch einen künstlichen Wärmestrom ersetzt wird. Letzterer kann mit konventionellen Techniken, in dem Fall aber ohne Beeinflussung des Meßvorganges, ermittelt werden. Der Wärmestrom $\dot{Q}$ durch eine Fläche A wird durch die in der Zeiteinheit transportierte Energiemenge gekennzeichnet. Zur thermoelektrischen Messung dieses Wärmestromes wird bei den bisher bekannten Verfahren ein zusätzlicher Wärmedurchlaßwiderstand R in den Wärmefluß eingebracht und aus der an diesem Widerstand entstehenden Temperaturdifferenz Δt, die mit thermoelektrischen Meßwandlern, wie Thermoelementen, Halbleiterdehnmeßstreifen u. a., gemessen werden kann, der Wärmestrom gemäß

$$\dot{Q} = \frac{\Delta t}{R} \cdot A \qquad (1)$$

berechnet.
Der entscheidende Nachteil dieser Verfahren besteht darin, daß der zusätzlich eingebrachte Wärmedurchlaßwiderstand den zu messenden Wärmestrom vermindert, d. h. verfälscht. Deshalb wird bei den bisher bekannten Verfahren versucht, den Widerstand R möglichst zu minimieren und zum Widerstand des Meßobjektes vergleichsweise klein zu gestalten.
Das zieht, um eine akzeptable Meßgenauigkeit zu erzielen, erhöhte Anforderungen an die thermoelektrischen Meßwandler nach sich, die in Ketten mit möglichst vielen Elementen aufgebaut werden müssen, um ausreichende Meßeffekte zu erzielen. Trotz der Minimierung des Widerstandes und der Erhöhung

des meßtechnischen Aufwandes bleibt die Beeinflussung des Wärmestromes prinzipiell bestehen.
Im Beitrag geht es darum, ein Meßverfahren zu schaffen, das den Wärmestrom exakt und ohne verfälschenden Einfluß bestimmt. Dabei soll der Nachweis thermoelektrisch erfolgen und mit geringem Aufwand möglich sein.

1. Meßprinzip

Das Prinzip der Messung besteht darin, daß der natürliche Wärmestrom kompensiert und durch einen künstlichen und leicht meßbaren Wärmestrom gleicher Größe ersetzt wird. Die Gleichheit dieser Wärmeströme wird über die Temperaturen im Meßobjekt, die sich durch die Meßanordnung nicht ändern dürfen oder bei großen Meßobjekten in und außerhalb der Meßanordnung gleich sein müssen, gesteuert und kontrolliert. Diese Kontrolle kann prinzipiell durch beliebig viele Temperaturmeßstellen, theoretisch auch durch das gesamte Temperaturfeld, durchgeführt werden. Die Kompensation des natürlichen Wärmestromes muß dabei an einer Stelle vorgenommen werden, wo diese keinen Einfluß auf den Wärmestrom im Meßobjekt hat. Das heißt in der Regel: an der Eintrittsstelle des Wärmestromes in das Meßobjekt. Weiterhin muß vorausgesetzt werden, daß vor der Eintrittsstelle die Kompensation keine wesentliche Störung des gesamten Wärmeflusses verursacht. Das ist dann der Fall, wenn der Wärmestrom aus einem Gebiet stammt, in dem relativ hohe Wärmetransportgeschwindigkeiten auftreten. Damit ist das Verfahren nur dort anwendbar, wo der Wärmestrom aus einem strömenden Gas oder einer Flüssigkeit oder aus einem sehr gut wärmeleitenden Material stammt. In der Praxis tritt das sehr häufig auf, z. B. bei Wärmeströmen durch Gebäudewände, aus Rohrleitungs- und Behältersystemen usw.
Technisch wird die erläuterte Problemstellung dadurch gelöst, daß eine Heizfolie *2* (Bild), deren Form und Größe der Fläche A, in der der Wärmestrom zu bestimmen ist, entspricht, auf oder in das Meßobjekt gebracht wird. Diese Heizfolie wird so mit elektrischer Energie versorgt, daß die freigesetzte Wärmeenergie je Zeiteinheit einerseits den natürlichen Wärmestrom kompensiert und andererseits einen künstlichen Wärmestrom liefert, der in seiner Größe genau dem vorher fließenden natürlichen Wärmestrom entspricht. Die elektrische Leistung für die Heizfolie wird dabei in ihrer Größe per Hand oder mit Hilfe einer Automatik so geregelt, daß sich das Temperaturfeld bzw. die Temperaturwerte an ausgewählten Kontrollstellen gegenüber den Verhältnissen ohne Meßanordnung nicht verändern.
Die Ermittlung des Wärmestromes $\dot{Q}$ kann dann auf verschiedene Weise erfolgen. Einerseits kann der künstlich erzeugte Wärmestrom über die an einem Etalon *1* mit dem Wärmedurchlaßwiderstand R_E entstehende Temperaturdifferenz Δt_E gemäß

$$\dot{Q} = \frac{\Delta t_E}{R_E} \cdot A \tag{2}$$

bestimmt werden. Da die Steuerung der Heizleistung immer garantiert, daß die Temperaturverhältnisse nicht verändert werden, ist die Größe des Wärmedurchlaßwiderstandes R_E des Etalons ohne Einfluß und somit gemäß Gl. (2) entsprechend der gewünschten Größe der Temperaturdifferenz zu wählen. Andererseits kann der Wärmestrom auch über die elektrische Leistung P_e der Heizfolie erfaßt werden:

$$P_e = U \cdot J . \tag{3}$$

U Versorgungsspannung der Heizung
J Heizstrom

Treten keine Verluste $\dot{Q}_v$ der umgesetzten elektrischen Leistung auf, d. h., wird der natürliche Wärmestrom ideal kompensiert,

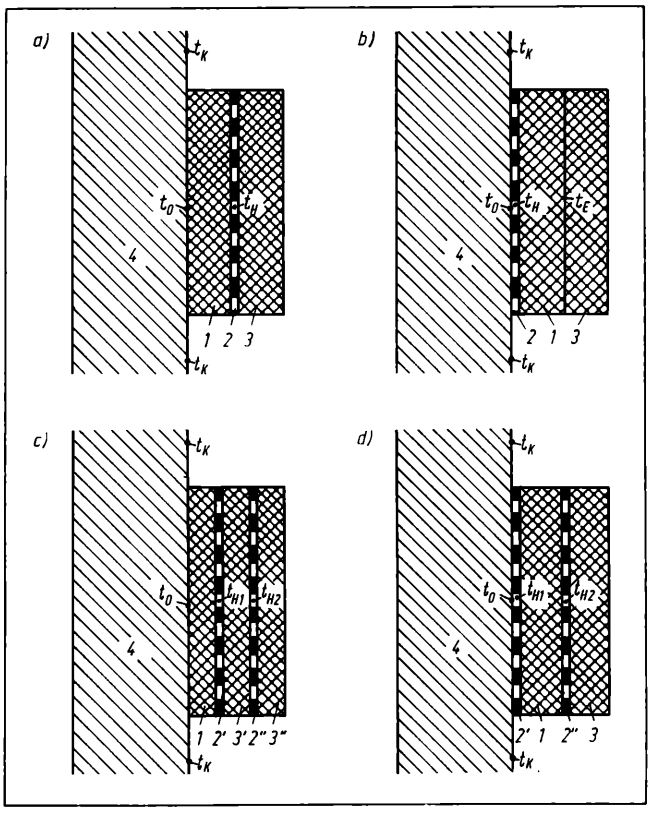


Bild. Varianten zur Wärmestromermittlung

so ist die Leistung P_e gleich dem künstlichen Wärmestrom:

$$\dot{Q} = P_e , \tag{4}$$

und der Wärmestrom ist mit elektrischen Meßgeräten erfaßbar. Sind Verluste vorhanden, so gilt:

$$\dot{Q} = P_e - \dot{Q}_v , \tag{5}$$

und der Wärmestrom $\dot{Q}$ ist durch zusätzliche Ermittlung der Wärmestromverluste $\dot{Q}_v$ gemäß Gl. (5) bestimmbar.

3. Praktische Ausführung der Meßanordnung

Unter Verwendung der angegebenen Meßprinzipien wurden Versuchsanordnungen zur Bestimmung des Wärmestromes durch die Außenwand eines Gebäudes aufgebaut. Im Bild wird unter a) ein Schnitt durch eine erste Variante zur Wärmestromermittlung gezeigt. Die Meßanordnung besteht aus einer Etalonschicht *1*, einer Heizebene *2*, die aus einer mäanderförmig geklebten Heizfolie, eng gespanntem Widerstandsdraht oder einem anderen Flächenheizsystem hergestellt wird, und einer Dämmschicht *3*. Zur Speisung der Heizebene dient eine steuerbare stabilisierte elektrische Stromversorgung. Ein Teil des in der Heizebene *2* freigesetzten Wärmestromes $\dot{Q}_1$ fließt in den Innenraum und kompensiert den von dort einfließenden Wärmestrom. Ein anderer Teil $\dot{Q}_2$ fließt von der Heizebene durch die Etalonschicht und die Wandung in Richtung des zu vermessenden Wärmestromes $\dot{Q}$. Dieser Teil $\dot{Q}_2$ entspricht dann genau dem zu messenden Wärmestrom $\dot{Q}$, wenn das Temperaturfeld in der Wandung unveränderlich bleibt und somit z. B.

$$t_K = t_0 \tag{6}$$

ist. Regelt man deshalb die Heizleistung P_E der Heizebene so, daß Gl. (6) gilt, so sind $\dot{Q}_2$ und $\dot{Q}$ von gleicher Größe, und der zu

bestimmende Wärmestrom kann gemäß

$$\dot{Q} = \frac{t_H - t_0}{R_E} \cdot A \tag{7}$$

ermittelt werden.

Teil b) des Bildes zeigt eine andere Variante zur Wärmestromermittlung, bei der sich die Heizebene direkt auf der Wandung befindet. Wird die elektrische Versorgung der Heizebene wieder so gesteuert, daß Gl. (6) gilt, so ist der von der Heizebene durch die Wandung fließende Energiestrom $\dot{Q}_2$ gleich dem zu messenden Wärmestrom $\dot{Q}$. Durch die Etalonschicht fließt diesmal der Verlustwärmestrom $\dot{Q}_1$, der gemäß

$$\dot{Q}_1 = \frac{t_H - t_E}{R_E} \cdot A \tag{8}$$

bestimmbar ist. Der gesuchte Wärmestrom $\dot{Q}$ ergibt sich zu

$$\dot{Q} = P_E - \dot{Q}_1, \tag{9}$$

wenn P_E die elektrische Versorgungsleistung der Heizebene ist. Weitere Anwendungsbeispiele sind im Bild unter c) und d) dargestellt. Durch Einbringen einer weiteren Heizebene 2'', die so in ihrer Leistung gesteuert wird, daß stets

$$t_{H1} = t_{H2} \tag{10}$$

gilt, wird erreicht, daß die Heizebene 2' ihren Wärmestrom nur in Richtung des zu messenden Wärmestromes $\dot{Q}$ abgibt. Die Heizebene 2'' übernimmt somit die alleinige Funktion der Kompensation, während die Heizebene 2' den natürlichen Wärmestrom durch einen künstlichen ersetzt. Wegen

$$\dot{Q} = P_E \tag{11}$$

kann der Wärmestrom über die elektrische Leistung P_E der Heizebene 2' mit elektrischen Leistungsmeßgeräten ermittelt werden.

Die durchgeführten Messungen mit den beschriebenen Varianten erbrachten gute Ergebnisse. Der Aufbau der Meßanordnung aus Dämmschichten, selbstgefertigten Heizfolien und Thermoelementen ist wesentlich unkomplizierter als die Herstellung dünnwandiger Wärmestrommeßfolien mit Thermoketten.

Die beiden zuletzt beschriebenen Varianten bieten weiterhin die Möglichkeit, den Wärmestrom mit elektrischen Leistungsmeßgeräten zu ermitteln, wobei nur zwischen ausgewählten Meßstellen Temperaturgleichheit herrschen muß, ohne daß das absolute Temperaturniveau bekannt ist.

msr 7707 Doz. Dr. sc. techn. Dr. rer. nat. *J. Dreyer* und Prof. Dr. sc. nat. *H. Rogaß*, IHS Cottbus, Abt. Mathematik-Naturwissenschaften, Lehrgebiet Physik

Neuerscheinung

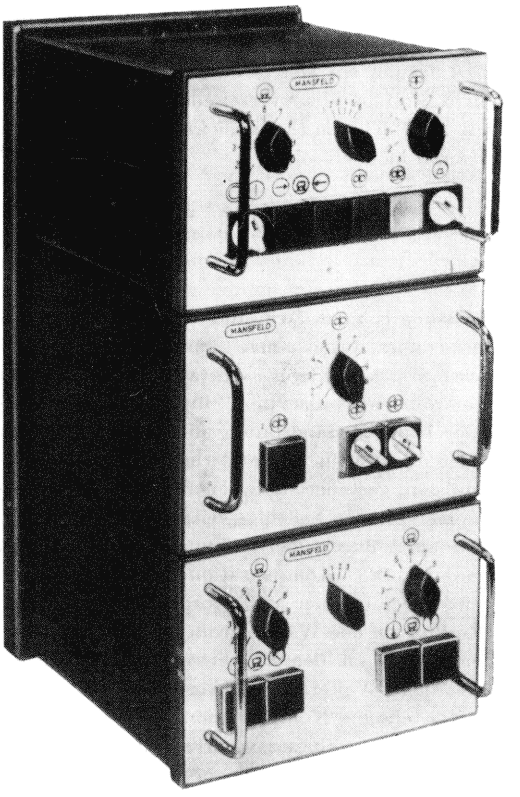
Wörterbuch für den Hobby-Elektroniker

ENGLISCH — DEUTSCH. Mit etwa 19000 Wortstellen.

Zusammengestellt von Hans-Dieter Junge.
292 Seiten, Broschur, 22,— M, Ausland 28,— M.
Bestellangaben: 5531251/Junge, Wb. Elektronik.

Auslieferung in diesen Tagen durch den Fachbuchhandel

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN



MANSFELD bietet mit den Einheitssteuerungen MSU Regel- und Steuerungseinrichtungen für teilautomatisch ablaufende Schweißprozesse

Die Typenreihe umfaßt 3 Steuerungsvarianten:

— MSU 2.1/1 für einen Drahtvorschubantrieb und einen Fahrantrieb
— MSU 2.0/1 für einen Drahtvorschubantrieb
— MSU 2.2/0 für zwei Zustellantriebe

Hohe Gebrauchswerteigenschaften wie:

- teilautomatisches Schweißen in beiden Richtungen mit gleicher und unterschiedlicher Nahtlänge,
- handgesteuertes Schweißen,
- gutes Zündverhalten,
- stufenlose Regelung der Drehzahlen der Antriebsmotoren im Verhältnis 1:10
- Endkraterfüllen bzw. Endkraterreduzierung,
- wahlweises Längs- oder Rundnahtschweißen,
- Fernabschaltung der Schweißstromquelle,
- geringe Masse und Abmessungen durch Einsatz der Steuerungselektronik

zeichnen die Universal-Einheitssteuerung aus.

MANSFELD

VEB
MANSFELD KOMBINAT
WILHELM PIECK
DDR
425 EISLEBEN
MARKT 57 · TEL. 5411
TELEX 04-7553
Werk für Anlagen- und Gerätebau

Exporteur:
Elektrotechnik EXPORT — IMPORT
Volkseigener Außenhandelsbetrieb
der Deutschen Demokratischen Republik
DDR-1026 Berlin, Alexanderplatz; Haus der Elektroindustrie

Wissenschaftliche Konferenz „Zuverlässigkeit von Industrieerzeugnissen"

Vom 14. bis 15. Mai 1982 fand in Varna (VR Bulgarien) die 3. Wissenschaftliche Konferenz „Zuverlässigkeit von Industrieerzeugnissen" statt. Veranstalter war das Staatliche Komitee für wissenschaftlichen und technischen Fortschritt der VR Bulgarien. Die wissenschaftlichen Konferenzen über „Zuverlässigkeit von Industrieerzeugnissen" nehmen im wissenschaftlich-technischen Leben der VR Bulgarien einen beachtenswerten Platz ein. Sie sind im Zusammenhang mit dem Bestreben der VR Bulgarien nach rascher Erhöhung des Niveaus und der Stabilität der Produktion zu sehen.
Die Konferenz wurde vom Minister für Maschinenbau und Elektrotechnik der VR Bulgariens, *M. Bosarow*, eröffnet. Es folgten 7 Plenarvorträge, u. a. von *T. Sadovskaja* (UdSSR): *Effektivität technischer Diagnostik im Bereich der Anlagenzuverlässigkeit*; *E. Gorassowa* (VR Bulgarien): *Zuverlässigkeitsprobleme während des 8-Jahrplans*; *K. Balkanlieva* (VR Bulgarien): *Ausbildung von Spezialisten der Zuverlässigkeitstheorie*; *K. Sankiewicz* (VR Polen): *Ein System der Prüfung der Betriebszuverlässigkeit von Anlagen*. Der weitere Verlauf der Tagung erfolgte getrennt in zwei Sektionen:

1. Zuverlässigkeit im Maschinenbau
2. Zuverlässigkeit in der Elektrotechnik/Elektronik.

Diese inhaltliche Trennung wurde allerdings nicht konsequent durchgesetzt.
In der Sektion 1 standen folgende Probleme zur Diskussion: Strukturelle Zuverlässigkeit von Schiffen und Unterwasserbauten, Zuverlässigkeitsprognose von Verschleißteilen mit besonderer Berücksichtigung von Kraftfahrzeugen (auch unter dem Blickwinkel der Instandhaltung), Probleme der Erhöhung der Zuverlässigkeit von Kühlaggregaten, Anwendung von Methoden der mathematisch-statistischen Versuchsplanung zur Zuverlässigkeitsschätzung.
Sektion 2 war folgenden Problemkreisen gewidmet: Bedienungsprobleme in Vermittlungszentralen, ökonomische Aspekte der Zuverlässigkeitsarbeit bei speziellen Transportprozessen, Zuverlässigkeitsprognose und -schätzung elektronischer Bauteile, Zuverlässigkeitskenngrößen für automatisierte Systeme.
In Postern wurden 57 Beiträge zu diesen und auch anderen Problemen der Zuverlässigkeitsarbeit vorgestellt. Die speziell zu diesen Postern angesetzte Diskussion ermöglichte im unmittelbaren Kontakt mit den Autoren einen fruchtbaren Erfahrungsaustausch und gab Ansatzpunkte für eine mögliche kooperative Zusammenarbeit.
Ausländische Teilnehmer der Veranstaltung kamen aus der Sowjetunion, der VR Polen, der Ungarischen VR, der SR Rumänien, den USA und Großbritannien. Die DDR war mit *H. Wolf* (TH Leipzig) und *F. Beichelt* (IH Mittweida) als Delegierte der KDT sowie *K. Polzer* und *M. Starke* (beide IH Zwickau) vertreten. Mit Vorträgen traten *K. Polzer* und *F. Beichelt* auf.
Von den Plenar- und Kurzvorträgen liegen nur Kurzfassungen in bulgarischer Sprache vor. In diese kann bei den DDR-Teilnehmern Einsicht genommen werden.

msr 7726 *F. Beichelt*

Tendenzen der Entwicklung und Anwendung der Klein- und Mikrorechentechnik aus der Sicht der V. Wissenschaftlichen Tagung der Ingenieurhochschule Dresden (21. bis 23. April 1982)

1. Allgemeine Tendenzen

Die weitere Rationalisierung und Automatisierung der materiellen Produktion wird entscheidend von der beschleunigten Entwicklung und Anwendung der Mikroelektronik, der elektrischen Steuerung von Maschinen sowie von der gezielten Nutzung der elektronischen Rechentechnik zur effektiven Organisation der Produktion und der Verwaltungsarbeiten bestimmt. Diese volkswirtschaftliche Grundorientierung bildet den Ausgangspunkt zur Profilierung der Forschung an der Sektion Informationsverarbeitung der Ingenieurhochschule Dresden. Bei der Realisierung dieser Grundstrategie kann als gesichert angesehen werden, daß die Mikroelektronik zu quantitativ und qualitativ wesentlich erweiterten Einsatzmöglichkeiten der automatisierten Informationsverarbeitung, verglichen mit der herkömmlichen Rechentechnik, führt. Diese Einsatzmöglichkeiten bestehen

- in der Gerätetechnik der Informationsverarbeitung selbst (Verwirklichung des Prinzips der „verteilten Intelligenz" in Rechnersystemen, Schaffung autonomer Kleinrechner hoher Leistung u. a.)
- in qualitativ neuartigen Anwendungen in der industriellen Steuerungstechnik einschließlich Industrieroboter, in der Nachrichten- und Meßtechnik und in Konsumgütern (sogenannte eingebettete, eng mit dem jeweiligen Basissystem verbundene, aus Komponenten anwendungsspezifisch „aufgebaute" mikroelektronische Systeme).

Die Beherrschung dieser Einsatzmöglichkeiten erfordert Kenntnisse und Fähigkeiten, die weit über die für das herkömmliche Programmieren fertiger Rechner notwendigen hinausgehen. Die mit der Schaffung eines eingebetteten mikroelektronischen Steuerungssystems verbundenen Arbeiten umfassen die Analyse des gegebenen Basisprozesses, den Entwurf und die Realisierung des mikroelektronischen Systems unter Nutzung eines Spektrums verfügbarer Bausteine, die Kopplung desselben mit dem Basisprozeß und schließlich die Programmierung der programmierbaren Systemkomponenten. Der Begriff Software bekommt somit einen wesentlich erweiterten Inhalt. Es werden Prognosen verständlich, die für die Mitte der 80er Jahre bei Automatisierungsprojekten einen Software-Kostenanteil von 80% vorhersagen. Eine qualitativ hochwertige Software wird in zunehmendem Maße bestimmend für die Qualität der Gesamtlösung.
Aus der aufgezeigten Entwicklungstendenz wurden folgende Forschungsschwerpunkte abgeleitet:

- Betriebssysteme und Sprachen für Klein- und Mikrorechner
- Projektierung und Anwendung von Klein- und Mikrorechnern mit dem Schwerpunkt der technologischen Vorbereitung der Produktion und der Prozeß- und Fertigungssteuerung.

Neben der Dezentralisierung der Rechnerleistung bei gleichzeitigem Mitwachsen zentraler Rechnerressourcen ist als weitere entscheidende Tendenz die Erhöhung der Parallelarbeit bei Rechnern, insbesondere bei Klein- und Mikrorechnern, zu verzeichnen.
Der zunehmende Einsatz der Rechentechnik als Rationalisierungsmittel in nahezu allen Bereichen der Volkswirtschaft weckt in verstärktem Maß den Wunsch nach der Lösung solcher Probleme, die mit Rechnern herkömmlicher Architektur (Einprozessorrechner) nicht oder nur unbefriedigend bearbeitbar sind. In erster Linie sind das Probleme, bei denen

- eine allgemeine Erhöhung des Durchsatzes wünschenswert ist, da ihre Bearbeitung durch den hohen Rechenzeitaufwand unwirtschaftlich ist

— hohe Echtzeitdringlichkeit besteht, d. h. eine Bearbeitung nur sinnvoll ist, wenn sie in einer bestimmten Zeit realisiert werden kann (vor allem bei Aufgaben der Prozeßsteuerung und Überwachung).

Experimentelle Untersuchungen und Veröffentlichungen besagen, daß sich die CPU-Zykluszeiten bei den Großsystemen seit Ende der 60er Jahre nur unwesentlich verkürzt haben. Demgegenüber bestehen Forderungen nach höherem Durchsatz für Probleme, die rechentechnisch als unerschlossen gelten.
Rechnerarchitekturen mit Parallelprozessoren können eine Lösung für erhöhten Durchsatz und Echtzeitaufgaben bringen, falls es möglich ist, in einer oder mehreren der Ebenen

— Programme
— Prozesse
— Anweisungen
— Elementaroperationen

zu parallelisieren.
Im Rahmen der V. Wissenschaftlichen Tagung an der Ingenieurhochschule Dresden wurden in der Fachgruppe Klein- und Mikrorechentechnik mit den Untergruppen

— Betriebssysteme und Sprachen für Klein- und Mikrorechner

— Projektierung und Anwendung von Klein- und Mikrorechentechnik

insgesamt 40 Vorträge zum erreichten Stand der wissenschaftlichen Arbeiten und zu weiteren perspektivischen Aufgaben auf den genannten Gebieten gehalten.
Aktiv durch Vorträge beteiligten sich vor allem die zahlreichen Praxispartner und Hochschulen, so u. a. die Sektionen Informationsverarbeitung der TU Dresden und der IH Dresden. Die dargelegten Probleme und Ergebnisse bestätigten die Richtigkeit der an der IH Dresden gewählten Arbeitsrichtungen; auf einige soll im folgenden näher eingegangen werden. Die gewählten Abschnittsbezeichnungen entsprechen dabei etwa den genannten Untergruppen. In den folgenden Ausführungen wird schwerpunktmäßig auf die prinzipiellen Inhalte der Vorträge der 1. Untergruppe eingegangen.

2. Systemsoftware — maschinenorientierte Systemunterlagen für Klein- und Mikrorechner

Auf dem Gebiet der Mikrorechentechnik findet z. Z. ein rasches Eindringen problemorientierter Programmiersprachen statt. Die gerätetechnischen Voraussetzungen bieten dafür Arbeitsspeicher in der Größenordnung von 64 Kbyte und die relativ billigen und zuverlässigen Foliespeichergeräte für die externe Speicherung. Erst in zweiter Linie ist der Übergang vom 8-bit-Prozessor zum 16-bit-Prozessor zu nennen; denn auch für 8-bit-Rechner sind anspruchsvolle und umfangreiche Sprachen, z. B. PL/I, heute verfügbar.

PASCAL 1520 für Bürocomputer

Als ein Beitrag zur Bereitstellung problemorientierter Sprachen für Mikrorechner ist das entwickelte Sprachverarbeitungssystem PASCAL 1520 für die Bürocomputer des Kombinats Robotron zu nennen.
Sie sind in der Regel mit folgender Peripherie ausgerüstet:

— alphanumerische Tastatur
— numerische Tastatur
— Funktionstastatur
— zweibahniger Drucker mit einer Druckgeschwindigkeit von 40 Zeichen/s.

Darüber hinaus sind Bildschirm, Diskettenlaufwerke, Lochbandeinheit, Kassettenmagnetband und eine Anschlußsteuerung für die Datenfernübertragung anschließbar. Die maximale Größe des Nutzerspeichers beträgt etwa 26—30 Kbyte RAM in Abhängigkeit vom verwendeten Betriebssystem. International bekannte höhere Programmiersprachen (bzw. Subsets), die unter solchen gerätetechnischen Bedingungen erfolgreich eingesetzt werden, sind COBOL, verschiedene BASIC-Versionen und PASCAL. Die Forderungen nach einfacher Erlernbarkeit, Anwendbarkeit und Implementierbarkeit werden von den genannten Sprachen, aber in unterschiedlichem Umfang, erfüllt.
So setzt COBOL beim Anwender ein relativ breites Grundwissen voraus, und die Anwendung dieser Sprache bedingt deshalb eine längere Lernphase. BASIC bzw. die praktisch genutzten Versionen sind mehr oder minder inhomogen und schwer effektiv zu implementieren. Demgegenüber ist PASCAL als eine gut strukturierte, von einem breiten Nutzerkreis leicht erlernbare höhere Programmiersprache (auch für die kommerzielle Datenverarbeitung) anzusehen, die sich zudem leicht implementieren läßt. Für diese Bürocomputer wurde ein modifiziertes Subset von PASCAL entwickelt, das sich an den gerätetechnischen Besonderheiten und an der zur Verfügung stehenden Software (Assemblersprache MABS) orientiert und als PASCAL 1520 bezeichnet wird. Gegenüber PASCAL gibt es einige Besonderheiten, es fehlen:

— der Datentyp REAL und von diesem abhängige Standardfunktionen, da auf den Geräten nur eine Dezimalarithmetik zur Verfügung steht
— Mengen-, Zeiger- und Teilbereichstyp
— die WITH-Anweisung
— Funktionen und rekursive Prozeduren.

Zur Unterstützung der Drucker- und Bildschirmarbeit sind in die entsprechenden Eingabe- und Ausgabeanweisungen Ausdrucksmittel für Positionierung und Datenaufbereitung zusätzlich aufgenommen worden. PASCAL 1520 erlaubt außerdem die Arbeit mit Direktzugriffsdateien. Das Sprachverarbeitungssystem PASCAL 1520 besteht aus vier Programmsegmenten, die als MABS-Objektprogramme vorliegen und die im Bild 1 aufgezeigte Überlagerungsstruktur bilden. Der residente Monitor realisiert neben der Entschlüsselung der Systemkommandos das Nachladen der einzelnen Systemkomponenten vom Diskettenspeicher, wenn diese durch entsprechende Kommandos angefordert werden.

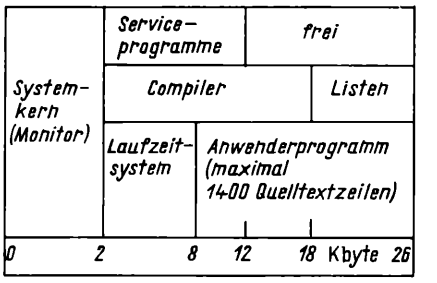


Bild 1. Speicherbelegung bei Quelltextaufbereitung' Übersetzung und Abarbeitung von PASCAL-1520-Programmen

Der Serviceprogrammteil ermöglicht die Eingabe von Programmen bei gleichzeitigem Prüfen der Einhaltung der Syntaxregeln, die zeilenweise Korrektur (streichen, einfügen, ändern) und das Löschen von Programmen. Außerdem können das Verzeichnis der Quelltextbibliothek und einzelne Programme bzw. Programmteile angezeigt oder gedruckt werden. Eingabe und Korrektur werden wirkungsvoll von der Funktionstastatur der Geräte unterstützt.
Der PASCAL-1520-Compiler übersetzt das Quellprogramm in einem Paß und erzeugt Objektkodes für eine virtuelle Maschine. Eine ausgebaute Fehlerbehandlung gestattet temporäre Korrekturen des Quellprogramms während der Übersetzung. Das Laufzeitsystem besteht aus dem Lader für die übersetzten PASCAL-1520-Programme und einem Interpreter für die Zielbefehle. Der Interpreter benutzt den Befehlskode als Index für einen Verteiler. Über ihn werden die entsprechenden Ausführungsroutinen erreicht. Um die Übersetzungs- und Laufzeit der PASCAL-1520-Programme zu verbessern, wurden nachträglich besonders häufig auszuführende Programmteile des Systems (lexikalische und syntaktische Analyse, Grundzyklus des Interpreters) in K-1520-Objektkode programmiert. Die Übersetzungsgeschwindigkeit konnte so verdreifacht und die Laufzeit um etwa 30% verringert werden.
Zur Arbeit mit dem PASCAL-1520-Sprachverarbeitungssystem sind neben dem Grundgerät ein Bildschirm und zwei Diskettenlaufwerke erforderlich. Außerdem werden mindestens 26 Kbyte RAM-Speicher benötigt.
Mittlerweile gibt es in dieser Sprache geschriebene Anwenderprogrammpakete zur Lohn- und Gehaltsrechnung, zur Material- und Lagerwirtschaft usw. sowie Service-Programme, die einen ho-

hen Komfort bei der Bedienung im Dialog gewährleisten, wobei der Dialog beim Editieren, Übersetzen und auch bei der Programmabarbeitung eingesetzt werden kann [1] und [2].
Die vor Jahren mit dem Sprachverarbeitungssystem BASIC 4000 begonnenen und mit dem System PASCAL 1520 fortgesetzten Arbeiten bieten gute Voraussetzungen für Arbeiten, die ein weiteres Vordringen problemorientierter Sprachen in der Mikrorechentechnik unterstützen und die bei Erarbeitung solcher Sprachverarbeitungssysteme sich selbst höherer Sprachen bedienen.

Emulator des Kleinrechnersystems robotron 4200 im Mikrorechnersystem K 1600

Die Mikroelektronik führt nicht nur zu konstruktiv-technologischen Veränderungen rechentechnischer Gerätesysteme, sondern auch zur Wahl veränderter und in den Einsatzmöglichkeiten erweiterter logischer Rechnerarchitekturen (Befehlssysteme).
Das Befehlssystem des K 1600 entspricht dem der Hauptmodelle SM 3/4 des Systems der Kleinrechner (SKR). Damit wurde auf dem Gebiet der Kleinrechentechnik ein zum ESER vergleichbarer Schritt vollzogen, der künftig eine problemlose Übertragung von Programmen zwischen Modellen verschiedener Hersteller des RGW über einen längeren Zeitraum gestattet.
Diesem Vorteil steht der Nachteil gegenüber, daß die im Ergebnis einer mehr als 15jährigen Anwendung von Kleinrechnern entwickelten Programme und Projekte beim Übergang zu Rechenanlagen des SKR nicht weiter genutzt werden können. Die Anwender fordern jedoch, daß vorhandene Programm- und Datenbestände ohne zusätzlichen wissenschaftlich-technischen Aufwand bei vergleichbarer Verarbeitungsleistung und einem günstigen Preis-/Leistungsverhältnis weiter genutzt werden können.
Möglichkeiten für eine Gewährleistung von Programm- und Datenkompatibilität sind u. a.:

1. Aufwärtskompatible Neuentwicklung von Rechnermodellen eines Rechnersystems
2. Implementierung von Rechenanlagen mit einer nicht fest definierten Maschinenbefehlsebene durch eine frei programmierbare Mikrobefehlsebene
3. Berücksichtigung einer Zweitarchitektur bei der Implementierung eines Prozessors (Emulator)
4. Vollkompatible Implementierung einer oder mehrerer höherer Programmsprachen
5. Programmtechnische Implementierung hochorganisierter hypothetischer Rechnerarchitekturen
6. Interpretierende Simulation der Rechnerarchitektur des Vorgängers.

Als besonders notwendig erweist sich die Implementierung von Kompatibilitätshilfen für den robotron 4200/4201, u. a. wegen seiner Anwendungsbreite. Untersucht wurden die verschiedenen Verfahren, wobei in Anlehnung an die 3. Möglichkeit eine Hardwarelösung gewählt wurde. Sie besteht darin, daß alternativ zum Hauptprozessor ein zweiter, funktionell in sich abgeschlossener Emulatorprozessormodul K 266n, bestehend aus 5 Steckeinheiten, die Aufgaben der Abarbeitung von robotron-4200/4201-Programmen übernimmt.
Aus dem Angebot von Prozessorschaltkreisen wurde das mikroprogrammierbare Bit-Slice-Mikroprozessorsystem K 589 gewählt. Es hat die erforderliche Flexibilität und Operationsgeschwindigkeit von $5 \cdot 10^6$ Operationen/s, um den robotron 4200/4201 mit einer annähernd vergleichbaren Operationsgeschwindigkeit nachbilden zu können.
Die wesentlichen Elemente dieses Schaltkreissystems sind:

1. Zentralprozessorelement K 589 IK02 mit 2 bit Verarbeitungsbreite, 11 Registern und 5 Kanälen
2. Mikroprogrammsteuereinheit K 589 IK01 zur Befehlsdekodierung und Folgeadreßbildung des Mikroprogrammspeichers
3. PROM-Schaltkreis 256 × 4 bit K 556 RE4 für den Mikroprogrammspeicher
4. Unterbrechungssteuereinheit K 589 IK14 zur Prioritätsauswahl von Unterbrechungssignalen.

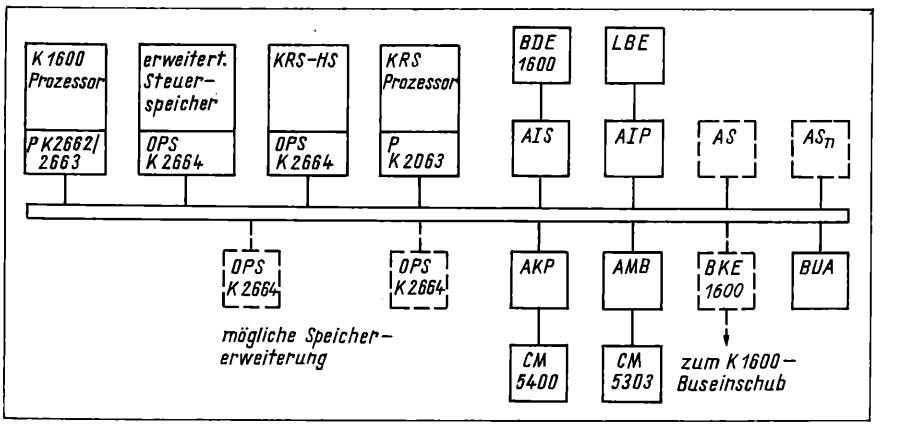
Als nachteilig erwies sich, daß in einem relativ großen Umfang SSI- und MSI-Schaltkreise für die Verbindungselektronik erforderlich sind.
Mögliche Schnittstellen zur Gewährleistung von Kompatibilität für robotron 4200/4201-Programme sind:

1. Maschinenbefehlsebene (Systemkompatibilität)
2. ZVE-Befehle + Steuerprogrammrufe (AP-Programmkompatibilität)
3. ZVE-Befehle + STAP-Rufe + Steuerprogrammrufe.

Mit steigender Ebene der Kompatibilitätsschnittstelle ergeben sich folgende Tendenzen:
— Reduzierung des Anteils übertragbarer robotron 4200/4201-Programme
— erhöhter Entwicklungsaufwand
— Verbesserung der zeitlichen Effektivität.

Die Vielfalt im Einsatz befindlicher robotron 4200-Betriebs- und Programmiersysteme erfordert, daß Kompatibilität auf der vollständigen Maschinenbefehlsebene gewährleistet wird.
Die geringe Kapazität des Mikroprogrammspeichers von 512 Worten mit einer Wortlänge von 40 bit erfordert, daß nur zeitkritische Systembestandteile auf der Mikroebene realisiert werden können und der Rest des Systems unter Verwendung des K 1600-Operativspeichers nachgebildet werden muß. Dem Nachteil einer geringeren zeitlichen Effektivität steht der Vorteil einer uneingeschränkten Systemkonfigurierung hinsichtlich der Unterbrechungskanäle, Anschlußsteuerungen und peripheren Geräte gegenüber.
Als entscheidender Schritt zur Reduzierung des Hardwareaufwandes erwies sich die Verwendung des K 1600-Systembus. Damit ist nur noch die robotron-4200-ZVE neu zu entwickeln. Die anderen Baugruppen können unverändert durch die Baugruppen
— OPS K 3564 (32 K, 1 Steckeinheit)
— K 1620- oder K 1630-Rückverdrahtungsleiterplatte
ersetzt werden.
Der Nachteil einer größeren Zugriffszeit zum OPS, verursacht durch den K 1600-Bus, konnte durch die im Bild 2 wiedergegebene Systemstruktur ausgeglichen werden, die einen direkten und damit effektiveren Zugriff zu den peripheren Geräten gestattet.
Eine Simultanarbeit der beiden Prozessoren K 2662/2663 und K 2063 ist wegen der hohen Auslastung des Busses, insbesondere durch den K 2063, nicht sinnvoll. Zusätzliche Totzeiten entstehen dadurch, daß der untergeordnete Prozessor K 2063 nach einer bestimmten Anzahl von OPS-Zugriffen den OPS für den K 2662/2663 freigeben und anschließend den OPS-Zugriff nach einem festgelegten Protokoll beim übergeordneten Prozessor wieder beantragen muß. Deshalb wurde festgelegt, daß immer nur ein Prozessor am Bus die Steuerung übernimmt. Die Übergabe der Steuerung erfolgt analog zu peripheren Anschlußsteuerungen.
Die logische Architektur der ZVE des robotron 4201 wird durch den mikroprogrammierten Prozessor nachgebildet. Die Register der erweiterten Architektur, wie
— Stackpointer
— Prozessorstatusregister
— Arbeitsregister,

Bild 2. Struktur des Gesamtsystems



werden den 12 internen Registern des K 589 zugeordnet.
Zusätzlich zu den Befehlen des KRS wurden spezielle Befehle implementiert, die eine rationelle Nutzung der Hardwaremoduln des K 1600 gestatten.
Der Prozessor K 2063 hat über eine 18-bit-Adresse Zugriff zum vollständigen Adreßraum des K 1600-Systembus. Mit Hilfe der dazu erforderlichen Adreßerweiterungsbits [17:16] im Prozessorstatuswort wird einer der vier 32-K-Worte-Speicherbereiche ausgewählt. Die Adresse innerhalb eines Speicherbereiches [15:0] wird im Mikroprogramm durch Ausführung der KRS-Adreßmodifikationen gebildet. Die E/A-Register der K 1600-Peripherie sind durch alle speicherbezogenen Befehle des robotron 4201 ansprechbar, d. h., es ist eine zu K 1620/1630 äquivalente E/A-Programmierung möglich. Die Adressierungsarten des robotron 4200/4201 werden vollständig ausgeführt. Der Prozessor besteht aus 5 Steckeinheiten, die unmittelbar nach dem Prozessor K 1620/1630 und dem OPS an den Bus zu stecken sind. In Konfigurationen, die für einen späteren Einsatz des K 2063 vorgesehen sind, werden die 5 Steckplätze durch Blindstecker überbrückt, bei K 1620 sind eine weitere 32K-OPS-Steckeinheit und ein zweiter Blockeinschub für Systemerweiterung vorgesehen.
Den einzelnen Steckeinheiten sind folgende Funktionseinheiten zugeordnet:

1. Zentalprozessorelement und Unterbrechungssteuerung
2. Mikroprogrammspeicher (512 × 40 bit, 70 ns Zugriffszeit)
3. Bussteuerung für den internen Bus (Adreß- und Datenleitungen getrennt)
4. Externe Bussteuerung
5. Externes Prozessorregister zur Kommunikation mit dem Prozessor K 2662/2663.

Die Befehlsdekodierung und der Mikroprogrammspeicher sind mit PROMs ausgeführt, so daß in gewissen Grenzen durch sachkundige Anwender auch andere Architekturen nachgebildet werden können. Der zeitliche Verlängerungsfaktor der simulierten E/A-Befehle liegt zwischen 1:10 bis 1:60. Im Vergleich zu den Bedienzeiten für ein Zeichen (etwa 500 µs), das durch das Steuerprogrammsystem von und zu peripheren Geräten zu übertragen ist, tritt nur eine Verdopplung (etwa 1 ms) auf. Mit einer Übertragungsgeschwindigkeit von 1000 Zeichen/s ist bei den Geräten der 1. Peripherie, wie Lochbandleser, Lochbandstanzer, Schreibmaschine, Serien- oder Paralleldrucker, nur eine Reduzierung der Simultanarbeit von peripheren Geräten zu erwarten. Die MBE 4000 und der KPS ISOT 1370 werden durch spezielle Routinen nachgebildet, die ebenfalls die annähernd volle Übertragungsleistung gewährleisten. Mit dem Prozessor K 2063 und den Systemunterlagenkomponenten „Bedienkommando- und E/A-Simulationsroutinen" steht dem K 1600-Anwender eine Kompatibilitätshilfe für WTÖR-System- und Anwenderprogramme zur Verfügung, die annähernd die Leistung eines KRS-Nachfolgemodells erreicht. Der Aufwand des Anwenders zur Nutzung des Simulationssystems besteht lediglich in der Einarbeitung in die K 2063-Bediensprache, die jedoch prinzipiell mit der K 1600-Bediensprache übereinstimmt.
Eine Konvertierung von KRS-Programmen oder -Daten ist nicht erforderlich, Datenträgerkompatibilität ist hardwarebedingt nur für Lochband und 12,7 mm Magnetband gewährleistet.
Die auf diesem Arbeitsgebiet gewonnenen Erfahrungen bieten Voraussetzungen für weitere Untersuchungen auf dem Gebiet der Rechnerarchitektur für Ein- und Mehrprozessorsysteme [3] bis [6].
Abschließend soll zu diesem Teil eine weitere Richtung genannt werden, die die Erarbeitung von modularen Betriebssystemen für Ein- und Mehrprozessorsysteme und entsprechende CROSS-Systemunterlagen betrifft [7] und [8]. Das Ziel dieser Arbeiten besteht darin, für den Mikrorechner K 1520 Basis-Systemunterlagen zur Verfügung zu stellen, die sich am System der Kleinrechner (SKB) orientieren. Neben den Vorteilen der Standardisierung ergibt sich vor allem die Verfügbarkeit anspruchsvoller Betriebssystemkomponenten sowie der ebenso anspruchsvollen und leistungsfähigen Makroassembler-Sprache MACRO-1520.

Man kann dabei einschätzen, daß auf der Grundlage von MACRO-1520 modulare und flexibel generierbare Systemunterlagen für den K 1520 entwickelt werden können. Die hochentwickelte standardisierte Makrotechnik von MACRO-1520 gestattet die Übertragung von Programmen aus höheren Programmiersprachen auf verschiedene SKR- und Mikrorechner, indem ein Quellprogramm aus der höheren Programmiersprache in ein Makroprogramm übersetzt wird und das Makroprogramm mit dem jeweiligen Makroassembler unter Anwendung der spezifischen Makrobibliothek in den Maschinenkode des entsprechenden Zielrechners übertragen wird. Außerdem bietet MACRO-1520 günstige Voraussetzungen für die Realisierung von Assemblersprachen für neue Mikrorechnertypen.

Darüber hinaus hat MACRO-1520 mit seinen 44 leistungsfähigen Assembleranweisungen weitere Vorteile, wie freie Wahl der Basis des Zahlensystems (8, 10, 16), Steuerung des Aufbaues des Assembler-Protokolls, Strukturierung des Assembler-Protokolls, Auswahl von Assembler-Funktionen usw.

Der Cross-Makroassembler ASSK 1520 arbeitet nach dem Zwei-Paß-Prinzip mit Zwischenkodeerzeugung. Die Makrogenerierung erfolgt im ersten Paß unter Anwendung von zwei Makrobibliotheken. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit der Benutzung einer Systemmakrobibliothek und einer privaten Makrobibliothek.

Der Cross-Taskbildner gestattet die Verbindung einer beliebigen Anzahl von Objektmodulen, Objektmodulbibliotheken und Symboltabellenfiles zu einer Task mit wahlfreier Überlagerungsstruktur. Aus Gründen der Standardisierung ist der Cross-Taskbildner bezüglich der Steuerungssprache und Anwendung voll kompatibel zu einem SKR-Taskbildner im nichtvirtuellen Betriebssystem OS/RW [7] und [8].

3. Projektierung und Anwendung von Klein- und Mikrorechentechnik

Bei der Anwendung der Klein- und Mikrorechentechnik werden zwei Hauptrichtungen gesehen:

1. Die klassische Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik wird durch die elektronische Informationstechnik ergänzt bzw. ersetzt. Die Integration vollzieht sich dabei vor allem in folgenden Richtungen:
   - Einsatz der Geräte der Informationstechnik im Rahmen der Automatisierung der vorhandenen Prozesse (z. B. Automatisierung der informationellen Verkettung von vorhandenen technologischen Ausrüstungen, Laboreinrichtungen von Werkzeugmaschinen, Transport- und Lagereinrichtungen untereinander und ihre Kopplung mit übergeordneten Rechenanlagen)
   - Einsatz der Geräte der Informationstechnik im Rahmen der Schaffung neuer Automatisierungslösungen (Aufbau integrierter Fertigungssysteme, Bau kompletter Anlagen und Betriebssysteme)
   - Ausrichtung der Geräte und Einrichtungen der Informationstechnik auf Systemlösungen mit komplexer Informationstechnik und Übertragung (analog und digital) innerhalb der Geräte und im Gesamtsystem.
2. Mit der raschen Entwicklung und dem Einsatz der Mikro- und Kleinrechentechnik entstehen in allen Bereichen arbeitsplatzbezogene Einrichtungen der Informationstechnik, Gerätetechnik und Rechentechnik, die mit dem schrittweisen Aufbau von Datenbanken und Rechnernetzen in Betrieben, Einrichtungen und Kombinaten qualitativ neue Anforderungen an die Informationsübertragung in nachfolgend genannten Richtungen stellen.
   Auf der Grundlage der Mikrorechner ist z. B. im Produktionsprozeß international ein eindeutiger Trend zum verstärkten Einsatz numerisch gesteuerter, flexibel einsetzbarer Werkzeug- und Verarbeitungsmaschinen, ausgerüstet mit Robotertechnik und integrierter Meß- und Prüftechnik, sowie zum Aufbau dezentral organisierter Informationsverarbeitungssysteme für Prozeßsteuerung, Steuerung der Lager- und Transporteinrichtungen, Funktionen der Produk-

tionsvorbereitung und Kontrolle, der Konstruktion und der Büroorganisation zu verzeichnen. Gleichzeitig verstärkt sich der Trend zur rechnergestützten Verknüpfung einzelner Arbeitsschritte, wie Konstruktion, Fertigungsplanung, Lagerhaltung, Auftragsbearbeitung, Kostenrechnung u. a.

In Abhängigkeit vom Prozeß, dem Grad der Arbeitsteilung und Kooperation usw. vollzieht sich der Aufbau komplexer Informationssysteme, indem prozeßnah eine wechselseitige Verbindung zwischen arbeitsplatzbezogener und zentraler Datenverarbeitung hergestellt wird. Das führt zu einer hierarchisch gegliederten Struktur des Einsatzes der Informationstechnik und zum Aufbau von Rechnernetzen in den Kombinaten und Betrieben.

Auf der Tagung standen, ausgehend von den Anwendungstendenzen, zwei Probleme im Mittelpunkt:

- Projektierung und Anwendung rechnergestützter Technologenarbeitsplätze [9] und [10]
- Projektierung und Anwendung von Mikrorechnersystemen zur Automatisierung technologischer Teilprozesse [15] und [16].

Mit steigendem Produktionsumfang, mit Einführung neuer Erzeugnisse und mit zunehmendem Mechanisierungs- und Automatisierungsgrad steigt der Aufwand zur technischen Erstellung von Fertigungsunterlagen. Ein Ausweg aus dieser Situation wird in der Einführung rechnergestützter Technologenarbeitsplätze gesehen.

In Erweiterung des Programms der Fachgruppe wurde aufgrund einer großen Nachfrage eine ganztägige Fachtagung gemeinsam mit dem Bezirksverband Dresden der KDT und der KDT-Organisation der Ingenieurhochschule Dresden mit dem Thema „Rationalisierung der Arbeit von Konstrukteuren und Technologen durch den Einsatz von Klein- und Mikrorechentechnik sowie EDV-Anlagen des ESER" durchgeführt. Im Mittelpunkt standen dabei die Nutzung der gegenwärtig verfügbaren Rechentechnik in der DDR und die hierbei gesammelten Erfahrungen [11] bis [14].

Bei der Behandlung der Automatisierung technologischer Teilprozesse mit Hilfe der Klein- und Mikrorechentechnik standen Fragen der Entwicklung und Nutzung modularer, problemorientierter Systemunterlagen zur Überwachung und Steuerung von Fertigungsprozessen mit folgender Zielstellung im Mittelpunkt:

- zielgerichtete Modellermittlung (Prozeßbeschreibung, Identifikation), sowohl einzelner Fertigungseinrichtungen als auch ganzer Fertigungslinien
- Formulierung schneller und kleiner Überwachungs-, Prüf-, Steuerungs-, Regelungs- und Koordinierungsalgorithmen
- Umsetzung genannter Algorithmen mit Hilfe moderner Echtzeitbetriebssysteme und Programmentwicklungsplätze in die Elemente des Echtzeitoperationssystems, dabei kommt in der zweiten Etappe der Nutzung von Prozeßrechnersprachen Bedeutung zu.

Am Beispiel der Steuerung des Feinabgleichprozesses von Quartettresonatoren monolithischer Filter durch einen Mikrorechner K 1520 wurde die Automatisierung eines technologischen Teilprozesses dargestellt [17]. Der Feinabgleich von Quartettresonatoren erfolgt mit einer weitaus komplizierteren Strategie als bei den bisher gefertigten Zweikreisanordnungen. Bei manueller Abarbeitung wird die Arbeitskraft mit unzumutbar vielen Meßwertvergleichen und Steuerentscheidungen belastet, so daß eine Automatisierung dieses Teilprozesses der Filterherstellung unerläßlich ist. Als Automatisierungsmittel wurde der Einsatz eines Mikrorechners K 1510 vorgesehen, da dessen Bausteinstruktur die effektivste gerätetechnische Lösung bei einem Ersteinsatz verspricht und die Leistungsfähigkeit für das Problem ausreicht.

Der Mikrorechner wird dabei außer der unmittelbaren Meßwert-Informationsverarbeitung und Steuerung der Bedampfung auch zur Meßwertgewinnung, Protokollierung und Produktionsdatenerfassung herangezogen. Um einen Komplex verschiedener sachbezogener Applikationsprogramme unter Beachtung von Prioritäten einwandfrei abarbeiten zu können, war ein Echtzeitsteuerprogrammsystem erforderlich. Dieses wurde so konzipiert, daß eine entkoppelte Entwicklung, Testung und Änderung von Applikationsprogrammen sowie eine flexible Anpassung an verschiedene Peripherie-Konfigurationen gewährleistet ist. Ein solches modulares Konzept auch der Rechnersoftware war Voraussetzung für eine effektive Abwandlung des Automatisierungssystems bei in der Zukunft denkbaren Änderungen der Fertigungstechnologie oder der Koppelung mit weiteren Informationsverarbeitungssystemen.

Im einzelnen werden folgende wesentliche Sachkomplexe für die Lösung des automatisierten Feinabgleichs vorgesehen:

- Echtzeitsteuerprogrammsystem „REGIE" zur Koordination der AP-Abarbeitung, Interrupt-Behandlung und Peripheriebedienung
- Feinabgleichprogramm „FEAB" zur Abwicklung der Bedampfungsstrategie.

Die Meßwertgewinnung (generell Frequenzen) erfolgt nach Ausgabe der erforderlichen Meßregimeanschaltung („RGIM") durch eine spezielle Meßperipherie, die von der Echtzeituhr des Mikrorechners gesteuert wird (Programm „MEIN").

Aus den Meßwerten werden außer den Stellsignalen für die Blenden auch Informationen zur Steuerung der Bedampferstromstärke (Programm „REGL") gewonnen und ausgegeben. Beide Informationswege werden gerätetechnisch durch eine speziell entwickelte Prozeßkoppeleinheit realisiert. Die Protokollierung erfolgt in folgenden Varianten:

- Gutprotokoll („PROT") nach Abschluß einer ordnungsgemäßen Bedampfung eines Exemplars mit den Endmeßdaten, Exemplarnummer, Datum, Uhrzeit
- Ausschußprotokoll („AUSP") mit der Ausschußursache und den bis dahin erreichten technischen Daten
- Begleitprotokoll („BEGLP") zur Verfolgung eines Herstellungszyklus mit Wahl bestimmter Haltepunkte.

Das Gutprotokoll wird außerdem auf Lochband ausgestanzt und steht damit für beliebige EDV-Analysen der Erzeugnis- und Produktionsdaten zur Verfügung.

Die V. Wissenschaftliche Tagung der Ingenieurhochschule Dresden zeigte die erreichten Fortschritte auf dem Gebiet der Klein- und Mikrorechentechnik und bestätigte das von der Sektion Informationsverarbeitung angestrebte Forschungsprofil.

Literatur

[1] *Adler, H.; Hoffmann, P.; Karl, H.-U.; Roth, M.:* Erfahrungen beim Einsatz von PASCAL-1520 auf der Bürocomputerlinie A 5100. Vortrag V. WT der IH Dresden 1982.

[2] *Adler, H.; Hoffmann, P.; Karl H.-U.:* PASCAL-1520 für Bürocomputer. edv-aspekte (1982) S. 42 und 43.

[3] *Jungmann, D.:* Beiträge zur Programm- und Datenkompatibilität zwischen Rechnern unterschiedlicher Generationen und Größenklassen. Vortrag V. WT der IH Dresden 1982.

[4] *Jungmann, D.:* Emulator für Daten und Programme des Kleinrechnersystems robotron 4200/4201 im Mikrorechnergerätesystem robotron K 1600. NTB 26 (1982) H. 2 S. 54–57.

[5] *Schöne, S.; Kofer, C.:* Der Prozessor K 2063 im System K 1600 zur Gewährleistung der Programmkompatibilität von KRS 4200- und 4201-Programmen im System K 1600. Vortrag V. WT der IH Dresden 1982.

[6] *Harz, W.-D.; Jäppelt, M.; Stange, H.:* Ein parallelverarbeitendes Mehrmikroprozessorsystem zur Durchsatzsteigerung und Lösung von Echtzeitaufgaben. Vortrag V. WT der IH Dresden 1982.

[7] *Horn, Th.; Woitaske, R.:* Modulares Betriebssystem für den Mikrorechner K 1520 und SKR-orientierte Cross-Systemunterlagen. Vortrag V. WT der IH Dresden 1982.

[8] *Adler, H.; Horn, Th.:* Zur Methodik der Programmierung von Mikrorechnern. msr 23 (1980) H. 5, S. 251–254.

[9] *Eckhard, D.:* Forderungen an die Informationsverarbeitung unter Berücksichtigung der Anwenrdung der Mikrorechen- und Industrierobotertechnik. Vortrag V. WT der IH Dresden 1982.

[10] *Kochan, D.; Hartmann, J.:* Möglichkeiten der Gestaltung und Nutzung von rechnergestützten Technologenarbeitsplätzen. Vortrag V. WT der IH Dresden 1982.

[11] *Fickel, H. J.:* Der Einsatz dezentraler Datentechnik als Technologenarbeitsplatz und Nutzung des AKT 30.1 zur Leiterplattengestaltung. Vortrag V. WT der IH Dresden 1982.

[12] *Mittelstaedt, B.; Klünder, R.:* Probleme und Lösungswege zur Software-Entwicklung für TAP in der metallverarbeitenden Industrie. Vortrag V. WT der IH Dresden 1982.

[13] *Hoedt, K.; Strempel, H.:* Rechnergestützte technologische Vorbereitung im Dialog. Vortrag V. WT der IH Dresden 1982.

[14] *Roscher, C.; Haberland, H.:* Gestaltung des Dialoges an Terminals des ESER mit dem PS RTV. Vortrag V. WT der IH Dresden 1982.

[15] *Ribbecke, H.-D.:* Anwendung erneuerungstheoretischer Methoden zur Beschreibung des Ausfallverhaltens eines Fertigungsprozesses. Vortrag V. WT der IH Dresden 1982.

[16] *Pleskunin, W. I.; Woronina, E. L.:* Systemtechnische Untersuchungen diskreter technologischer Prozesse. Vortrag V. WT der IH Dresden 1982.

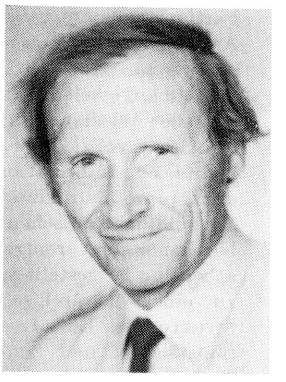
[17] *Cramer, S.; Uhlig, W.; Eiselt, G.; Kubin, H.:* Erfahrungen beim Einsatz eines Mikroprozeßrechnersystems zur Automatisierung eines technologischen Teilprozesses. Vortrag V. WT der IH Dresden 1982.

msr 7729 *H. Adler/H. Tzschoppe*

Die binäre Prozeßanalyse als Grundlage zum Entwurf von Binärsteuerungen

Die Basis für ein durchgängiges Verfahren zur Projektierung von Binärsteuerungen wird beschrieben. Damit soll insbesondere erreicht werden, die Qualität der Aufgabenstellung für den Steuerungsprojektanten des Automatisierungsanlagenbaubetriebes so zu erhöhen, daß sowohl der Projektdurchlauf als auch die Inbetriebnahme wesentlich verkürzt werden. Die binäre Prozeßanalyse beginnt mit der Zerlegung des Prozesses in Teilprozesse und deren formalisierte Beschreibung nach prozeßtechnologischen Gesichtspunkten. In dieser Phase müssen der Prozeß- bzw. Verfahrenstechnologe, der Anlagentechnologe und der Automatisierungsfachmann eng zusammenarbeiten. Die entstehende Dokumentation umfaßt die Prozeßzerlegung (Teilprozeß-Steuerhierarchie) und für jeden Teilprozeß einen Prozeßablaufplan; es gibt noch keine an das Steuerungssystem bindende Darstellungen. Bei Wiederhol-Teilprozessen können sehr leicht vorhandene Steuereinheiten vorgesehen werden (Blocksynthese). Der Einfluß der Prozeßmeß- und Stelltechnik ist mit einzuarbeiten. Entscheidungen und Festlegungen hierzu sind in neu vorgeschlagenen MSR-Listen festzuschreiben (Ergänzung zur TGL 33 247). Ebenso wird ein Vorschlag unterbreitet, die Anwendungsmöglichkeiten der TGL 14 091 für Steuerungen zu erweitern. Neben diesem ingenieurtechnischen Verfahren werden in der Dissertation das Teilprozeßmodell und die Teilprozeßkommunikation mathematisch untermauert. Hierzu dienen das Modell des Medvedev-Automaten in nichtdeterministischer Form mit bestimmten Restriktionen einerseits und azyklische, zyklische und leere Steueroperationen andererseits, die algebraisch erklärt werden und der Umrechnung vorhandener Zerlegungsstrukturen dienen können. Der Bearbeiter ist so in die Lage versetzt, sich die am günstigsten erscheinende Teilprozeßanordnung, z. B. bezüglich der gegenseitigen Beeinflussungen, auszuwählen.

Das Ziel des Projektierungsverfahrens ist eine formalisierte Aufgabenstellung für eine untereinander koordinierte Anzahl von Steuerungsablaufplänen. Auf dieser Basis können sowohl verdrahtungsprogrammierte als auch speicherprogrammierbare Steuerungen von Hand oder rechnergestützt projektiert werden. Drei Beispiele verdeutlichen die Anwendung des Verfahrens.



Jochen Alder wurde am 25. Januar 1930 in Leipzig geboren; 1945 bis 1948 Ausbildung als Elektromaschinenbauer; 1949 bis 1952 Studium an der Ingenieurschule für Maschinenbau und Elektrotechnik Leipzig; 1952 bis 1957 Studium an der damaligen TH Dresden, Fakultät Elektrotechnik, Spezialisierung Mikrowellentechnik; 1957 bis 1968 Entwicklungsingenieur und Abteilungsleiter im VEB Gerätewerk Leipzig: Entwicklung und Überleitung in die Produktion von transistorisierten Schiffsradaranlagen. 1969 bis 1973 Teilthemenleiter im Forschungszentrum des VEB Carl Zeiss JENA: Entwicklung und Überleitung in die Produktion elektronischer Steuerungen für den wissenschaftlichen Gerätebau; seit 1974 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TH Leipzig, Sektion Automatisierungsanlagen, Wissenschaftsbereich Projektierung.

Dissertation an der Fakultät für Naturwissenschaften und Technik des Wissenschaftlichen Rates der Technischen Hochschule Leipzig.

Leipzig, den 14. Januar 1982.
Doktorand: Dipl.-Ing. *J. Alder*
Vorsitzender der Prüfungskommission: Prof. Dr. sc. techn. *R. Müller*
Gutachter: Dozent Dr. sc. techn. *H. Wolf*
Prof. Dr.-Ing. *S. Pilz*
Dr. sc. techn. *E. Oberst*

Die Dissertation kann nur über die Bibliothek der TH Leipzig entliehen werden.

msr 7740 Dr.-Ing. *J. Alder*, TH Leipzig, Sektion Automatisierungsanlagen, 7030 Leipzig, Karl-Liebknecht-Str. 132.

Berührungslose Temperaturmesser

Überall dort, wo Meßobjekte aus den unterschiedlichsten Gründen zum Zwecke einer Temperaturmessung nicht berührt werden können bzw. dürfen, muß eine Temperaturmessung auf berührungslosem Wege durchgeführt werden. Das betrifft sowohl die Durchführung wissenschaftlicher Experimente und Untersuchungen als auch die Steuerung und Überwachung von Produktions- und anderen Prozessen.

Nach dem Prinzip der IR-Strahlungsintensitätsmessung haben die WILMER-Werke der Polnischen Akademie der Wissenschaften stationäre und tragbare berührungslose Temperaturmeßgeräte entwickelt. Bild 1 zeigt Meß- und Kalibrierprinzip eines derartigen Gerätes: Die von der Prüfoberfläche S ausgestrahlte IR-Strahlung wird mit Hilfe einer Optik auf einem Strahlungsdetektor fokussiert. Dieser Detektor ist Teil eines Thermoelements, und die erzeugte Thermospannung ist unter Berücksichtigung entsprechender Rand- und Einstellbedingungen ein Maß für die zu messende Oberflächentemperatur T_x.

Bei Meßobjekten mit bekanntem Emissionskoeffizienten ε_x ist dieser am Meßgerät einstellbar. Ist ε_x unbekannt, dann muß eine Kalibrierung durch parallele Messung mit einem Berührungsthermometer vorgenommen werden.

Da die Geräte mit je 2 Strahlungsaufnehmern ausgerüstet sind, ist neben der absoluten Temperaturmessung auch eine Differenztemperaturmessung zwischen 2 benachbarten Oberflächen möglich.

Folgende Gerätetypen werden angeboten:

- *Typ 51* (Bild 2) und *Typ 52*

  Hier handelt es sich um stationäre Meßgeräte mit Netzanschluß mit folgenden technischen Daten:

	Typ 51	Typ 52
Meßbereich	0 ... 100 °C	0 ... 500 °C
Anzahl der Teilbereiche	1	5
Spannungsversorgung	220 V Ws	220 V Ws
Leistungsaufnahme	10...20 VA	10...20 VA
Masse	4 kg	4 kg

- *Typ 55* (Bild 3)

  Dieses Gerät ist transportabel und sowohl für Batterie- als auch für Netzbetrieb geeignet. Es wird überall

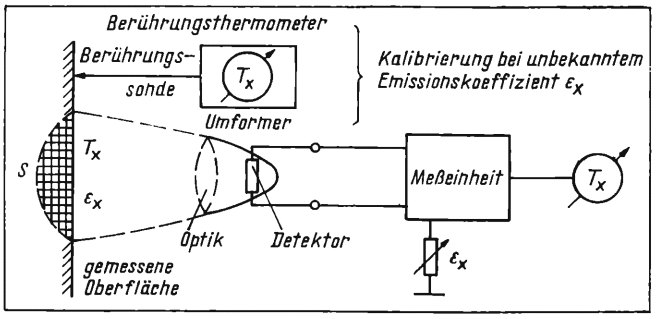


Bild 1

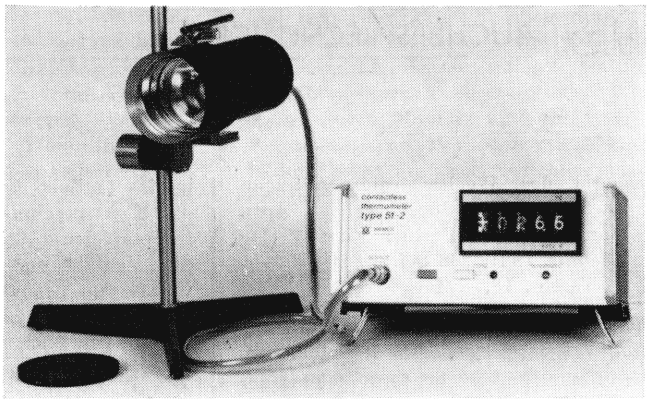


Bild 2

dort vorteilhaft angewendet, wo eine schnelle, berührungslose Temperaturmessung variabler Meßobjekte vorgenommen werden soll (z. B. in der Bauindustrie zur Untersuchung der Wärmeisolation von Wänden, in der Energietechnik zum Erkennen von Schäden im Heiznetz, in der Viehzucht zur Messung der Körpertemperatur von Tieren u. a. m.)

Technische Daten:

Meßbereich	0 ... 100 °C
Spannungsversorgung	3 V Gs/220 V Ws
Masse	2 kg

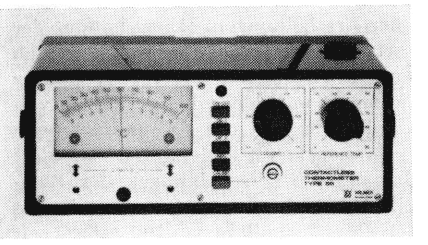


Bild 3

Weitere technische und kommerzielle Auskünfte erteilt:
Außenhandelsunternehmen LABIMEX, Krakowskie Przedmieście 79, Warszawa, Telex 814633 wilm pl, Telefon 20-13-93 und 20-51-12.

msr 7733

Mikrowellenfeuchtemesser

Sowohl bei der Durchführung wissenschaftlicher Experimente als auch bei der Überwachung von Produktionsprozessen kommt der Messung des Wassergehalts fester und flüssiger Stoffe große Bedeutung zu.

Die Mikrowellenapparatewerke WILMER der Polnischen Akademie der Wissenschaften stellen Labor- und Industriefeuchtemeßgeräte her, die nach dem Prinzip der Amplitudendämpfung elektromagnetischer Wellen in dielektrischem Meßgut, verursacht durch unterschiedlichen Wassergehalt, arbeiten. Je nach Ausführung können mit diesen Geräten kontinuierliche oder Stichprobenmessungen durchgeführt werden. Das Meßprinzip bei kontinuierlichem Materialfluß zeigt Bild 1. Die Geräte können überall dort vorteilhaft angewendet werden, wo es auf schnelle und berührungslose Feuchtemessung dielektrischer Stoffe ankommt, die in flüssiger, lockerer, fester, poröser, granulierter, faserartiger, geschichteter o. ä. Form vorliegen.

Folgende Gerätetypen werden angeboten:

- *Labor-Mikrowellenfeuchtemesser, Typ 63*

  Typ 63.1 (Bild 2) ist mit einem Trichterfühler ausgestattet und dient in erster Linie der Feuchtemessung nichthygroskopischer, körniger, granulierter Stoffe mit hohem Feuchtigkeitsgehalt.

  Typ 63.2 (Bild 3) arbeitet mit einem Rohrfühler und dient zur Messung von hygroskopischen, pulverförmigen, granulierten u. ä. Stoffen mit geringem Feuchtigkeitsgehalt.

  Beide Geräte sind mit einer elektronischen Temperaturkompensation bei zusätzlichem Anschluß eines Temperaturfühlers ausgestattet.

- *Mikrowellenfeuchtemesser, Typ 65*

  Dieses Gerät ist für schnelle technologische Messungen ein und desselben Materials in einem relativ kleinen Änderungsbereich der Feuchtigkeit bestimmt. Eine Umeichung auf ein anderes Material kann der Benutzer unter Zuhilfenahme von Referenzproben selbst vornehmen.

- *Mikrowellen-Industriefeuchtemesser, Typenreihe 16*

  Die Verwendung dieser Feuchtemesser in Produktions- und Schüttgutprozes-

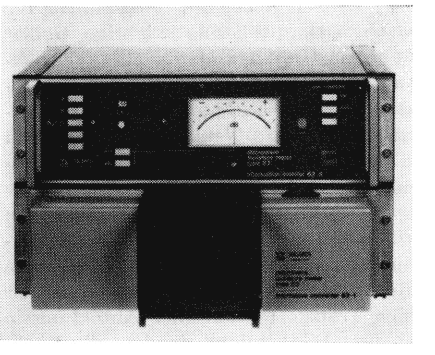


Bild 2

sen ermöglicht die Automatisierung dieser Prozesse sowie kontinuierliche Qualitätskontrolle. Sie können besonders dort vorteilhaft angewendet werden, wo traditionelle Verfahren zu langsam oder unwirksam sind. Gute Ergebnisse wurden bei der Feuchtemessung von Sand, Kohlenstaub, Zuckerrübenschnitzeln, Mineraldünger und Getreide erzielt.

Weitere technische und kommerzielle Auskünfte erteilt:
Außenhandelsunternehmen LABIMEX, Krakowskie Przedmieście 79, Warszawa, Telex 814633 wilm pl, Telefon 20-13-93 und 20-51-12.

msr 7732

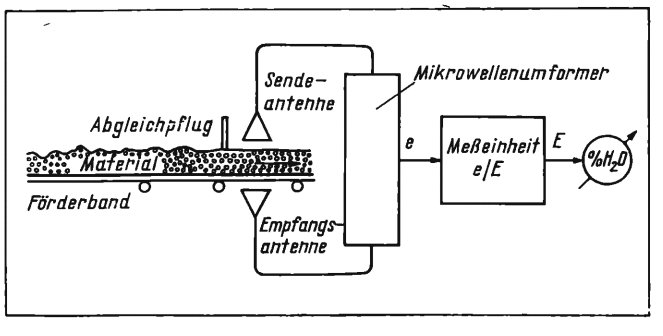


Bild 1

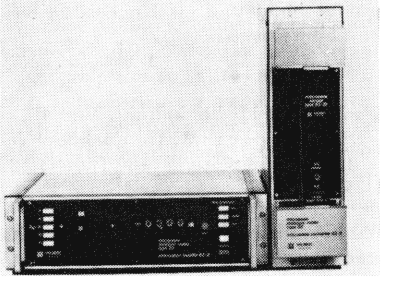


Bild 3 ▶

Theorie der Wechselstromschaltungen (Lehrbuch). 4. durchgesehene Aufl. Von *K. Lunze*. Berlin: VEB Verlag Technik 1981, 288 Seiten, 204 Bilder, 11 Tafeln, 18,— Mark
Bestell-Nr. 5520886

Das Lehrbuch „Theorie der Wechselstromschaltungen" liegt nunmehr in der 4., durchgesehenen Auflage vor. Der Autor dieses anerkannten Hochschullehrbuches nutzt seine langjährigen Lehrerfahrungen zur Vermittlung der wesentlichen, allen Fachrichtungen gemeinsamen Grundlagen der linearen Netzwerktechnik. Hierbei beschränkt er sich auf die Behandlung der drei Schwerpunkte:

1. Berechnung linearer Stromkreise bei sinusförmiger Erregung
2. Berechnung linearer Kreise bei mehrwelliger Erregung
3. Berechnung linearer Kreise bei Schaltvorgängen.

Das Lehrbuch behandelt dieses für die Grundlagenausbildung wichtige Gebiet in einem Umfang, der für alle Fachrichtungen des Elektroingenieurwesens angemessen ist. Es baut auf Grundkenntnissen über die Netzwerkelemente und über die Berechnung von Gleichstromnetzen auf und schafft die Basis für die spätere Vertiefung in den einzelnen Fachrichtungen. Die gründliche Herausarbeitung des Wesens der komplexen Rechnung der Wechselstromtechnik als eine Transformation oder Abbildung in einem „Bildbereich", in dem die Rechnungen sich vereinfachen, schafft eine gute Grundlage für das Verständnis und die Anwendung der weiterführenden Integraltransformationen der Systemanalyse.
Das Buch ist übersichtlich und nach didaktischen Gesichtspunkten aufgebaut und der Stoff exakt, verständlich und anschaulich dargestellt. Eine Vielzahl von durchgerechneten Beispielen und Aufgaben regen den Leser an bzw. schaffen die Voraussetzung für die erforderliche Aneignung einer Routine bei der Berechnung elementarer Wechselstromschaltungen bei sinusförmiger und mehrwelliger Erregung sowie bei der Berechnung einfacher Einschaltvorgänge (im Zeitbereich). Das Buch ist somit sowohl zum Gebrauch neben der Vorlesung als auch zum Selbststudium sehr gut geeignet und als Hochschulliteratur empfehlenswert.

B 1659 *E. Philippow*

Elektrizität im Blickpunkt. Von *W. Conrad*. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1981. 159 Seiten, 109 Bilder, 22,— Mark.

Wohl kein anderes Gebiet der Technik hat eine ähnliche stürmische Entwicklung durchlaufen und in so breitem Maße in das tägliche Leben eingegriffen wie die Elektrotechnik. Verschiedene Faktoren spielen dabei eine Rolle. Einer ist die Vielfalt der Erscheinungsformen. Neben den Leistungsriesen der Maschinen und wärmetechnischen Anlagen basieren eben auch solche vergleichsweise energiearme Anwendungen, wie der drahtlose Nachrichtenempfang mit Hilfe elektromagnetischer Wellen oder ein Taschenrechner, auf der Basis elektrischer Erscheinungen. Hinzu kommt der Vorteil dieser Energieform, daß sich zentrale Erzeugung und relativ billiger Transport mit dem völligen Fehlen von Abfallstoffen bei der Anwendung beim Verbraucher verbinden. Der ständige Umgang mit Erscheinungen der Elektrizität und das enorme Tempo, mit dem sich diese Technik in den 100 Jahren seit der Inbetriebnahme der ersten Wärmekraftwerke entwickelt hat, machen eine Darstellung von Geschichte und Leistungsvermögen nicht nur für den Fachmann interessant. Ziel des Buches ist eine derartige Darstellung, die geeignet ist, einen breiten Leserkreis informativ anzusprechen, ohne dabei ausgesprochenes Fachwissen zu vermitteln. Der Themenkreis erstreckt sich von Kraftwerk und Energieverbundsystem über technologische Anwendungen, elektrische und elektronische Baueinheiten, Nachrichten- und Elektroantriebstechnik bis zur Mikrorechentechnik. Der Autor hat eine Form gefunden, die dem technisch Interessierten eine Fülle interessanter Fakten in erzählender Form nahebringt, ohne spezielle Grundlagen vorauszusetzen. Daß auch in einem derartigen Buch nicht auf die konkrete Darstellung technischer Zusammenhänge und Funktionsabläufe verzichtet werden muß, wird an vielen interessanten Beispielen bewiesen. Die sorgfältig bearbeiteten Zeichnungen tragen wesentlich zum Verständnis der Ausführungen bei.

B 1626 *K. Fiedler*

Jahrbuch Elektrotechnik. Von *A. Grütz*. Westberlin/Offenbach: VDE-Verlag G.m.b.H. 458 Seiten, 39 Bilder, 40 Tafeln.

Dieser Band 1982 (1981) des VDE-Verlages gibt in einzelnen, lose zusammengefügten Aufsätzen namhafter Autoren der BRD für Techniker und Ingenieure der Elektrotechnik praxisnahe Informationen über den Stand der technischen Entwicklung, Entwicklungstendenzen, Standardisierung und weitere neue Erkenntnisse der Bereiche

- Technische Kommunikation
- Energietechnik
- Elektrotechnik, Sicherheit und Standardisierung.

Im Bereich technische Kommunikation werden die neue Kommunikationstechnik am Beispiel des internationalen Textkommunikationsdienstes (Teletex) sowie deren Grundmerkmale, Aufbau, Daten- und Fernschreibnetz, Einführungszeiten, Kosten und die Rolle der Standardisierung dargestellt. Mit diesem digitalen, integrierten System ist es seit 1981 möglich, daß über 1 Mill. Teilnehmer neben dem Telefondienst auch gleichzeitig den Fernschreib- bzw. -kopierdienst nutzen können und z. B. je Minute Informationen von 12 Seiten A 4 austauschen können. Dieser kompatible Dienst war jedoch nur durch konsequente und abgewogene Standardisierung des CCITT möglich. Desgleichen werden Stand, Komfort, Trend und Netzkonzeption der Systeme „Elektronic Mail (Elektronische Post)", der öffentlichen Datennetze in Westeuropa sowie die Digitalisierung der Fernmeldenetze, deren Möglichkeiten und Auswirkungen beschrieben. Ebenfalls wird von den Erfahrungen bei der Einführung der Lichtwellenleitertechnik (LWL-Technik) bei der Deutschen Bundespost berichtet bzw. Angaben zur Zielsetzung, Konstruktion und Montage der Quarzglasfaserkabel und Anschlußtechniken gegeben sowie deren erfolgreiche Anwendung auch bei der Verkabelung von Rechnern und HS-Meßeinrichtungen bestätigt.
Im Bereich Energietechnik werden im einführenden Teil Stand und Prognose des Primärenergiebedarfs der Welt und in der BRD, der Anteil der verschiedenen Energieformen (Kernenergie, Stein- und Braunkohle, Heizöl, Erdgas, Wasserkraft u. a.) am Gesamtanteil und deren zu erwartende Steigerungsraten bestimmt und analysiert. Als ein Mosaikstein zur Substitution importierter Energieträger mit dem Vorteil geringer Umweltbelastung wird in einem separaten Beitrag der stärkere Einsatz von Wärmepumpen und deren Entwicklungsmöglichkeiten empfohlen. Daran schließen sich globale Betrachtungen über die Entwicklung der elektrischen Energieübertragung an, und es werden für die BRD Prognosen zu den Übertragungs- und Verbundaufgaben (höchste Spannungsebene der BRD: 380 kV), der Schaltgeräte (Einsatz von 420-kV/63-kA-SF_6-Leistungsschaltern), der Schaltanlagen (verstärkter Einsatz gekapselter SF_6-380-kV-Anlagen; Einsatz dezentralisierter elektronischer Steuerungssysteme in Mikrorechner- und Lichtleitertechnik, die mit zentralen Prozeßrechnern verbunden sind, die die Funktion der Koordination übernehmen), Kabel und Leitungen sowie zur optimalen Netzbetriebsführung (Einsatz internationaler Verbundsysteme) aufgestellt. Weiterhin ist eine Übersicht zu den

heute bereits im Betrieb bzw. in der Vorbereitung befindlichen Höchstspannungs-Übertragungseinrichtungen der wichtigsten Industrieländer der Welt angegeben.
Da es in letzter Zeit beim Einsatz von Stromkreisverteilern in Hausinstallationen häufig zu schädigenden Lichtbogenüberschlägen kam und diese auf die Überbrückung der Luftstrecken durch Whisker (Einkristallbildung) an Kabelschuhen zurückzuführen ist, werden die Entstehung und die Eigenschaften, deren Auswirkungen auf die Starkstromanlagen sowie das Erkennen und die Einschränkungen dieser Erscheinungen beschrieben.
Der Bereich Elektrotechnik, Sicherheit und Standardisierung des VDE-Buches informiert anläßlich des 100jährigen Bestehens von VDE über Aktivitäten, Struktur und internationale Bindungen der Deutschen Elektrotechnischen Kommission im DIN und VDE und nennt die Aufgaben der VDE-Prüfstellen. Darüber hinaus wird über die Neugliederung/-übernahme wichtiger Festlegungen aus IEC-Vorschriften und Überarbeitung von DIN 57 100/VDE 0100 „Errichten von Starkstromanlagen bis 1000 V" berichtet und eine Einführung zur IEC-Publikation 364 „Elektrische Anlagen von Gebäuden" mit Angaben zu Struktur, Gliederung und Grundsätzen gegeben. Im abschließenden fachlichen Beitrag werden die tödlichen Stromunfälle in der BRD analysiert, Trend und Relativierung der absoluten Unfallzahlen anhand von Grafiken und Tabellen beschrieben. Dabei wird festgestellt, daß die Stromunfälle durch Veränderungen im Sicherheitsniveau elektrotechnischer Anlagen seit 1954 erfreulicherweise erheblich zurückgegangen sind.
Die letzten Abschnitte des Buches enthalten eine Zusammenstellung elektrotechnischer Institute und Fachbereiche an Hochschulen der BRD, eine Auswahl wichtiger Abkürzungen, physikalischer SI-Einheiten, Gleichungen, Schalt- sowie Bildzeichen und Kennbuchstaben der Elektrotechnik nach DIN.

B 1614 *H. Kloust*

Das Jahrbuch für Ingenieure 1982. Hrsg. *W. J. Bartz* und *Z. Wippler*. Grafenau: expertverlag 1982. 672 Seiten, zahlr. Bilder und Tafeln.

Dieses in periodischer Folge erscheinende Kompendium über Stand und Tendenz aktueller Gebiete und Probleme der Technik konzentriert sich in dieser Ausgabe u. a. schwerpunktmäßig auf die Theorie und Praxis der Betriebsführung und -organisation Forschung und Technologie, angewandte Elektrotechnik und Elektronik sowie auf die Energie- und Umwelttechnik. Angesichts der hohen Dynamik der Technik unserer Zeit und ihres Divergierens in zahlreiche Spezialdisziplinen wird es für den Interessenten immer schwieriger und zeitaufwendiger, sich über die erheblich anschwellende Originalliteratur die erwünschten Informationen zu verschaffen. Diesem Sachverhalt trägt das Buch durch Fachbeiträge zahlreicher Autoren in übersichtlicher und auf das Wesentliche des jüngsten Standes in konzentrierter Form Rechnung, wobei jeder Beitrag mit einer Originalquellenübersicht mit Titeln z. T. bis zum Jahre 1981 abschließt.
In insgesamt zwölf Abschnitten werden folgende Sachgebiete behandelt:
Forschung und Technologie unter besonderer Berücksichtigung der technisch-ökonomischen Bedeutung der Innovation, besonders hinsichtlich moderner Technologien; Fort- und Weiterbildung als untrennbarer Bestandteil der Ingenieurarbeit; Betriebsführung und Organisation; Entwicklung und Konstruktion unter Berücksichtigung der modernen elektronischen Datenverarbeitung als Mittel zur Rationalisierung geistiger Routinearbeit (Dialog Konstrukteur — Rechenautomatik); Werkstoffe und moderne Bearbeitungsverfahren (Präzisions-Erodier- und Erosionsverfahren, thermische Laserstrahlbearbeitung); betriebliches Qualitätswesen; angewandte Elektrotechnik und Elektronik (u. a. Stand und Tendenz der Prozeßrechnersysteme in der Praxis, Fortschritte der Optoelektronik und Sensortechnik, Nachrichtenübertragung über Lichtleitfasern, technologische Anwendung von Röntgenstrahl- bzw. Elektronenbeugung); Energiewesen einschließlich aufschlußreicher Übersicht über den Stand der Wärmepumpentechnik sowie Umwelttechnik, Recht und Normung im Bereich der Ingenieurwissenschaft.
Die übersichtlich gegliederten und mit zahlreichen Bildern zu Wirkprinzipien und Anlagen ergänzten Beiträge vermitteln in rationeller Weise eine sehr informative komplexe Übersicht und die Möglichkeit, tiefergehenden und speziellen Interessenten anhand der ausgewiesenen Spezialliteratur nachzugehen.

B 1633 *G. Meister*

Einführung in die Systemdynamik. Von *P. Profos*. Stuttgart: B. G. Teubner 1982. 172 Seiten, 81 Bilder, 18 Tafeln.

Der Entwurf von automatisierten Steuerungen erfordert die Beschreibung des statischen und des dynamischen Verhaltens von Signalen und Systemen durch relativ einfache mathematische Signal- und Systemmodelle. Der Autor stellt sich deshalb das Ziel, für Ingenieure die grundlegenden Begriffe, Methoden und allgemeinen Konzepte zur Beschreibung des dynamischen Verhaltens von Signalen und Systemen in einer Einführung vorzustellen.
Im ersten Schwerpunkt werden mathematische Modelle für determinierte und stochastische kontinuierliche Signale im Zeit- und Frequenzbereich vorgestellt und ihre Interpretation durch gut gewählte Beispiele dem Leser verständlich gemacht. Aufbauend auf den Beschreibungsformen dynamischer Systeme durch Modelle und der kurzen Vorstellung von Methoden zur Modellbildung wird im zweiten Schwerpunkt des Buches auf die Behandlung dynamischer linearer kontinuierlicher Systeme eingegangen. Neben der Vorstellung verschiedener Modelle für das dynamische Verhalten werden wichtige Eigenschaften linearer Systeme, Grundtypen dieser Systemklasse und einige Beeinflussungsmöglichkeiten des Systemverhaltens untersucht. Der umfangreiche Stoff ist durch gute Zusammenfassungen und Übersichten sowie durch geeignete Aufgaben verständlich aufgearbeitet worden.
Der zum Abschluß betrachtete Komplex: Systemanalyse, Systemsynthese und Systemidentifikation stellt mehr das Konzept vor und ist weniger als eine Anleitung zur direkten Lösung von Teilaufgaben anzusehen.
Insgesamt ist dem Verfasser eine gute Einführung in die dynamische Beschreibung von Signalen und linearen kontinuierlichen Systemen für den Aspekt der automatischen Steuerung dieser Systeme gelungen. Für das Verständnis sehr förderlich sind die eingefügten Aufgaben und Beispiele. Durch die Orientierung auf die Lösung der praktischen Probleme stellt das Buch eine wichtige Hilfe zur Einführung in das Gebiet der dynamischen Betrachtungsweise für alle diejenigen dar, die sich mit der Steuerung verschiedenartiger Prozesse beschäftigen müssen.

B 1623 *J. Wernstedt*

Statistische Analyse linearer Regelungssysteme. Von *W. Leonhard*. Stuttgart: B. G. Teubner. 266 Seiten, 134 Bilder.

Beim Durcharbeiten des Buches spürt man die didaktischen Fähigkeiten des Autors. Das aus Vorlesungen über die Anwendung statistischer Verfahren der Regelungstechnik hervorgegangene Werk konzentriert sich auf das Wesentliche. Nur so ist es dem Autor möglich, auf etwa 250 Seiten ein beachtlich breites Spektrum eines modernen Gebietes der Regelungstechnik in geschlossener Form abzuhandeln. Zunächst werden die für das Verständnis der später betrachteten statistischen Analyseverfahren notwendigen wahrscheinlichkeitstheoretisch-statistischen Grundlagen zusammengestellt. Als Analysemethoden zur Beschreibung (i. allg. linearer) dynamischer Systeme werden dann die Regression, die Korrelationsfunktionen, Energie- und Leistungsspektrum und ihre untereinander bestehenden Verbindungen betrachtet. Hervorzuheben ist dabei, daß die Prozeßanalyse stets unter dem Aspekt der Grundlage und Voraussetzung für die Synthese von Regelungssystemen zur Darstellung gelangt. Folgerichtig wird auch der minimale quadra-

tische Fehler als dominierendes Entwurfskriterium angesehen und gezeigt, wie quadratische Zielfunktionen minimiert werden können. Über die Abwägung von Vor- und Nachteilen der Korrelationsanalyse gelangt der Autor schließlich zu einer sehr verknappten Einführung in die modernen Verfahren der Parameter- und Zustandsschätzung, wobei als grundlegendes Verfahren wieder die Regression verwendet wird.
In vorzüglicher Weise gelingt es dem Autor, die jeweiligen Aufgabenstellungen zu erläutern und relevante Aussagen zu treffen. Dagegen erscheint die Darstellung der Verfahren selbst bei fast völligem Verzicht auf Herleitungen mitunter etwas zu knapp und bedarf sicher für mit dem Stoff wenig vertraute Leser der Benutzung ergänzender Literatur, auf die aber ausreichend verwiesen wird. Als Beispiel hierfür möge nur der Algorithmus der rekursiven Regression dienen. Der Korrekturterm in Gl. (13) auf S. 221 bedarf zum Verständnis der daraus getroffenen Aussagen unbedingt einer genaueren Formulierung. Dagegen ist die zunächst etwas irritierende Vertauschung der Bilder 1.9 und 1.10 offenbar auf den Buchherstellungsprozeß zurückzuführen. Ungeachtet dieser kleinen Abstriche läßt sich zusammenfassend vorbehaltlos einschätzen, daß dieses sich seit 1973 in unveränderter Form präsentierende Buch von seiner Aktualität nichts verloren hat.

B 1672 *D. Werner*

Optimale Regelung und Filterung. Zeitdiskrete Regelungssysteme. Von *H. Schwarz*. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH 1981. 132 Seiten, 37 Bilder, 2 Tafeln.

Die kurze Darstellung ausgewählter Probleme aus der Theorie zeitdiskreter Regelungssysteme knüpft unmittelbar an den vom gleichen Autor erschienenen Einführungsband „Zeitdiskrete Regelungssysteme" an. Dies wird äußerlich deutlich durch die zum Einführungsband fortlaufende Abschnittsnumerierung. Inhaltlich sind die Bezüge jedoch nicht so eng — zumindest nicht zwingend —, so daß der Band selbständig zu verwenden ist.
Der breitere Einsatz von Digitalrechnern, insbesondere in Gestalt von Mikrorechnern für Regelungszwecke, ermöglicht es u. a., sogenannte strukturoptimale Regelungen für deterministisch und stochastisch gestörte Regelstrecken zu realisieren. Mit dem Buch wendet sich der Autor dem dafür erforderlichen theoretischen Hintergrund zu und versucht, auf begrenztem Raum die folgenden ausgewählten Komponenten darzustellen:

- Optimale Regelung linearer Systeme mit quadratischen Gütekriterien (Abschn. 6, etwa 30 S.)
- zeitdiskrete Filter (Abschn. 7, etwa 25 S.)
- zeitdiskrete Systeme und stochastische Signale (Abschn. 8, etwa 40 S.)
- Beobachter und optimale Filter (Abschn. 9, etwa 25 S.).

Der Abschnitt 7 steht etwas neben dem sonst relativ geschlossenen Problemkreis. Eine vollständige Behandlung selbst dieser ausgewählten Themen, wie man sie vielleicht aus Monographien und umfangreichen Originalarbeiten in Erinnerung hat, ist auf 120 Seiten nicht möglich. Der Autor möchte vielmehr dem Studierenden der Regelungstechnik und solchen Hochschulkadern, die in der Praxis mit Problemen der Regelung mit Digital- und Mikrorechnern in Berührung gekommen sind, aufzeigen, welche durchaus handhabbaren theoretischen Mittel und Methoden zur Verfügung stehen, um das praxisrelevante Problem des o. g. Optimalreglerentwurfs zu lösen. Damit ist auch gleichzeitig der hauptsächliche Interessentenkreis, an den sich das Buch wendet, umrissen. Dem wenig vorgebildeten Leser werden bei der knappen Darstellung nicht jedes Detail und ggf. nicht jede in Satzform zusammengefaßte Hauptaussage auf Anhieb vollständig verständlich werden. Hierzu sind die eigene konzentrierte Auseinandersetzung mit der Stoffauswahl gestützt auf das zitierte Schrifttum und ggf. die Vorlesung notwendig. Leider häufen sich Fehler in Symbolen und Formeln, die dem Lernenden unnötige Probleme aufgeben. Der Band wird die verschiedensten Formen der Aus- und Weiterbildung an Hochschulen im Vorfeld der praktischen Anwendung linearer quadratisch optimaler Regelungen mit Mikrorechnern gut unterstützen.

B 1569 *U. Korn*

Regelungstechnik. 3., neubearbeitete und erweiterte Auflage. Von *T. Ebel*. Stuttgart: B. G. Teubner 1982. 200 Seiten, 104 Bilder, 34 Beispiele.

Das Buch, erschienen in der Reihe „Teubner Studienskripten", vermittelt im Stil einer Vorlesungsniederschrift die Grundlagen der klassischen Regelungstechnik. Es ist ohne speziellere Vorkenntnisse verständlich und zur Ergänzung entsprechender Lehrveranstaltungen an Ingenieurhochschulen, Fachschulen sowie zum Selbststudium gut geeignet. Die langjährigen Lehrerfahrungen des Autors finden in einfachen und klaren Formulierungen des Textes, instruktiven Bildern und in einer größeren Anzahl durchgerechneter Beispiele ihren Niederschlag.
In den Abschnitten 1 bis 6 werden kontinuierliche, lineare Regelkreise und Regelkreisglieder behandelt. Als bevorzugtes Entwurfsverfahren wird das Bode-Diagramm eingeführt. Der 7. Abschnitt behandelt Regelkreise mit der Beschreibungsfunktion. Es erfolgt ferner eine sehr kurze Einführung in die Methode des Zustandsraumes. Der abschließende 8. Abschnitt behandelt lineare Abtastsysteme mit der z-Transformation. Tafeln mit Korrespondenzen zur Laplace-Transformation und zur z-Transformation beschließen das Buch.
Trotz der gegebenen Umfangsbeschränkung würde man sich, ausgehend von den Anforderungen der modernen Automatisierungstechnik, eine deutliche Unterscheidung zwischen kontinuierlichen und diskontinuierlichen (diskreten) Systemen und den zugehörigen Analyse- und Entwurfsverfahren wünschen. Auch der Zustandsanalyse kommt im Zusammenhang mit diskreten Systemen und adaptiven Regelungen heute schon eine größere praktische Bedeutung zu als das Buch zum Ausdruck bringt. Sicher ist es eine dankbare Aufgabe für eine spätere Auflage, diese Grundfragen der „modernen" Regelungstechnik in ähnlicher einfacher und klarer Weise darzustellen wie die klassischen Abschnitte.
Inzwischen kann aber das Buch Lernenden und Lehrenden nützlich sein, da es manche Anregungen bezüglich Stoffauswahl, Anwendungsbezogenheit und Einfachheit vermittelt.

B 1617 *R. Schönfeld*

Stabilitätstheorie. Von *P. C. Parks* und *V. Hahn*. Westberlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1981. 164 Seiten, 69 Bilder.

Nur bei linearen, zeitinvarianten, totzeitfreien Eingrößenregelungen ist die Stabilitätsprüfung eine elementare Aufgabe, die jedem Regelungstechniker geläufig ist. Jedes Abweichen von diesem Standardfall bringt spezifische Probleme mit sich, mit denen sich eine reichhaltige Spezialliteratur befaßt. Der Vorzug des vorliegenden, aus einer Vortragsreihe von *P. C. Parks* hervorgegangenen Buches besteht darin, daß es in einer zusammenfassenden Darstellung und in leicht faßlicher Form den Zugang zu den verschiedenartigen Methoden der Stabilitätsuntersuchung von Regelungssystemen eröffnet. Auf die Darlegung von Zusammenhängen und Beweisen wird dabei ebenso Wert gelegt wie auf die anwendungsbreite Formulierung der Stabilitätskriterien.
Ausführlicher als üblich werden im ersten Kapitel die elementaren Kriterien für lineare Systeme von *Leonhard/Michailow*, *Routh/Hurwitz* und *Nyquist* und — als ihre gemeinsame Wurzel — die Surmschen Folgen behandelt. Dort findet man auch Kriterien für Systeme mit komplexen Koeffizienten (*Bilharz*) und mit Totzeit (*Nyquist*, *Pontrjagin*) sowie für diskontinuierliche Systeme (*Jury*).
Mit Stabilitätsproblemen bei nichtlinearen Systemen befaßt sich das zweite Kapitel. Ausgehend von einer Hierarchie von Stabilitätsbegriffen werden die Aussagen der direkten Methode von *Ljapunov* formuliert und erläutert. Als Ansätze zur Konstruktion einer Ljapunov-Funktion werden die Matrix-Ljapunov-Gleichung (für lineare Systeme) sowie

die Methoden von *Schultz/Gibson, Ingwerson* und *Brockett* angeboten. Auf Regelkreise mit statischer Nichtlinearität anwendbar sind die Methode von *Letow/Lurje* sowie das Popov-Kriterium im Frequenzbereich, dessen Beweis wieder die Verbindung zur Methode von *Brockett* herstellt. Das Kapitel schließt mit dem Kreiskriterium, speziell auch in Anwendung auf lineare Gleichungen mit periodischen Koeffizienten.
Das dritte Kapitel führt für die Stabilitätsuntersuchung linearer Mehrgrößenregelungen die auf dem Konzept der Diagonaldominanz beruhende Methode von *Rosenbrock* sowie das verallgemeinerte Nyquist-Kriterium von *Mac Farlane* ein, deren praktische Auswertung im allgemeinen einen Rechner erfordert. Hinweise auf das Konzept der Hyperstabilität nach *Popov* für nichtlineare Mehrgrößenregelungen und die Anwendung der Ljapunov-Theorie auf partielle Differentialgleichungen sowie eine Reihe von Übungsaufgaben mit Lösungen beschließen das reichhaltige und anregende Buch, das in allen Teilen die langjährige fachliche und methodische Erfahrung des Vortragenden widerspiegelt.

B 1620 *H. L. Burmeister*

Global Modelling. Procedings of the IFIP-WG 7/1 Working Conference, Dubrovnik, Yugoslavia, Sept. 1—5, 1980. Herausgegeben von *S. Krčevinac.* Westberlin / Heidelberg / New York: Springer-Verlag 1981. 232 Seiten.

Die unter der Schirmherrschaft der IFIP, TC-7 „Systemmodellierung und Optimierung" stehende Konferenz wurde von der Fakultät für Organisationswissenschaften und dem Jugoslawischen Komitee für Elektronik und Automation organisiert. Ihr Ziel bestand darin, einerseits methodologische und anwenderorientierte Probleme bei globalen Modellen zu diskutieren sowie andererseits die Kontakte zwischen „Modellierern" und Modellnutzern zu verbessern. 51 Teilnehmer aus 9 Ländern (Jugoslawien, UdSSR, USA, BRD, Frankreich, England, Kuweit, Österreich, Niederlande) nahmen an der Konferenz teil.
Der Tagungsband enthält 15 Beiträge unterschiedlicher Länge und Detailliertheit:
R. Tomović: Top-Down Approach to Global Dynamic Modelling
Z. Zarić: Experience with Energy System Modelling in Serbia
Y. R. Cho and *E. D. Gahan*: The UNIDO World Industry Cooperation Model
S. I. Gass and *S. C. Parikh*: Credible Baseline Analysis for Multi-Model Public Policy Studies
H. P. Smit, R. P. Vos and *H. J. W. Weyland*: Medium — and Long Term Models for the ESCAP Region
H. Bossel: Modelling Policy Consequences and Evaluation Processes Using the „DEDUC" Nonnumerical Program System
A. H. Zemanian: Economic Models of Periodic Marketing Systems
Y. Zahavi: A New Urban Travel Model
P. M. Allen: Modelling the Self-Organization of Human Systems
S. K. Gehrecke: The Impact of Energy and Environmental Policy on the Design of Energy Models
N. Fergany: Treatment of the Arab Region in Global Models
G. Bruckmann: IIASA's Role in Global Modeling
V. B. Bajić and *B. J. Petrović*: Quasi-Models of Price Evolution and Their Qualitative Properties
G. G. Pirogov: A Model of Regional Interactions Considering Energy Deficits
M. Rajkov, S. Andrić, Z. Šišarica and *Lj. Rajin*: Contribution to the Simulation Modelling of an Economic System.
Als hervorhebenswertes Ergebnis der Arbeitskonferenz betrachtet der Rezensent die Tatsache, daß ein moderner Zweig der Physik, der dissipative Strukturen fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht untersucht, als wesentliche Basis für eine adäquate Modellierung ökologischer und soziologischer Systeme erkannt wurde.

B 1602 *K. Reinschke*

Chemical Process Dynamics. Von *R. Mohilla* und *B. Ferencz.* Budapest: Akadémiai Kiadó 1982. 300 Seiten, zahlr. Bilder.

Dynamische Modelle technischer Prozesse sind eine wichtige Grundlage für weitergehende automatisierungstechnische Untersuchungen. Gegenstand des Buches sind überwiegend kontinuierlich betriebene Prozesse der chemischen Verfahrenstechnik; das Modellierungsverfahren auf der Basis der naturwissenschaftlich-technischen Grundgesetze wird im Deutschen allgemein „theoretische Prozeßanalyse" genannt. Ausgangspunkt der Darstellung ist die allgemeine Bilanzgleichung für Stoff, Energie und Impuls in der von *Benedek* und *László* eingeführten, nicht unumstrittenen Form. Daraus werden dann in systematischer Reihenfolge, d. h. geordnet nach den jeweils auftretenden physikalisch-technischen Effekten, dynamische Modelle von Systemen mit konzentrierten wie auch verteilten Parametern abgeleitet, jeweils an Beispielen typischer verfahrenstechnischer Apparate (Speicher, Rohrleitungstransport, Rührkessel, Absorption, Extraktion, Wärmeübertrager, Destillationskolonnen, Rohrreaktoren). Bei der Behandlung werden in der Regel alle die Annahmen gemacht, die den Schwierigkeitsgrad der Modellierung noch erträglich zu halten gestatten (ideales Stoffverhalten, Berücksichtigung nur einer Ortskoordinaten, Vernachlässigung der Impulsbilanz). Die Darstellung ist sehr detailliert und kann somit beispielhaft für die Modellierung weiterer, im Buch nicht behandelter Prozesse wirken. In der Regel werden die Modelle, die sich primär als Differentialgleichungen ergeben, aufgearbeitet, d. h. linearisiert und als Übertragungsfunktionen dargestellt.
Ebenso werden typische Zeitantworten der modellierten Systeme diskutiert und dabei der Zusammenhang mit typisch verfahrenstechnischen Darstellungsformen der Dynamik (Beschreibung durch strömungstechnische Kenngrößen; Verweilzeitmodelle) herbeigeführt. Es ist klar, daß für die Systeme mit verteilten Parametern dazu ein größerer mathematischer Aufwand erforderlich wird. Die Darstellung ist dadurch aber sehr gut geeignet, beim verfahrenstechnischen Leser Kenntnisse und Fertigkeiten über typisch automatisierungstechnische Darstellungsmethoden dynamischer Zusammenhänge zu festigen. Dazu kann auch ein Anfang beitragen, der wichtige Automatisierungsstrukturen, die über den einfachen Regelkreis hinausgehen, zusammenfaßt. Für den Automatisierungstechniker kann das Buch wirksam dazu beitragen, Kenntnisse vom dynamischen Verhalten einer großen Anzahl wichtiger Automatisierungsobjekte zu vermitteln. Wenn allerdings im Zusammenhang mit diesem Buch eine grundsätzliche Frage gestellt werden darf, dann ist es die nach der Bedeutung, die man zukünftig den Zustandsraummodellen für die Ausbildung der Nicht-Automatisierungstechniker wird einräumen müssen. Das Buch verzichtet völlig auf diese Modellform, möglicherweise aus wohlerwogenen Gründen.

B 1629 *G. Brack*

Versuchsplanung in Aufgaben der nichtlinearen Schätzung und in der Mustererkennung. Von *G. K. Krug, V. A. Kabanov, G. A. Fomin* und *E. S. Fomina* (in Russ.). Moskau: Nauka 1981. 172 Seiten, 30 Bilder, 5 Tafeln.

Mit dieser Arbeit wird der Anwendungsbereich der Versuchsplanung um die nichtlineare Parameterschätzung und die Mustererkennung erweitert. Die Autoren entwickeln dafür eine Vielzahl von Algorithmen, die sich in der praktischen Anwendung bereits bewährt haben und im staatlichen Algorithmenfonds der UdSSR registriert wurden.
Aufgaben der nichtlinearen Parameterschätzung entstehen bei der Entwicklung komplizierter, in den Parametern nichtlinearer Modelle. Die Autoren geben einen Überblick über bislang veröffentlichte Arbeiten zur Anwendung der Versuchsplanung für diese Aufgaben, wobei insbesondere untersucht wird, inwieweit anstelle sequentieller Pläne simultane Pläne, die a priori erstellt und bezüglich ausgewählter Kriterien optimiert wurden, verwendbar sind. Für die Methode der kleinsten Quadrate, Maximum-Likelihood-Schätzung sowie die Bayessche Schätzung ergeben sich optimale Algorithmen der Versuchsplanung. Anwendung finden derartige Algorithmen z. B. bei der Entwicklung automatisier-

ter Steuerungssysteme für technologische Prozesse, wobei vielfach nichtadditives und farbiges Rauschen angenommen werden muß.
Ist die Ausgangsgröße lediglich qualitativ gegeben, d. h., über das Untersuchungsobjekt kann nur qualitativ geurteilt werden (ohne Beschränkung der Allgemeinheit werden zwei Klassen betrachtet), so entsteht die Aufgabe der Mustererkennung. Im Unterschied zu den klassischen Methoden, die auf einer gegebenen Folge von Beobachtungen basieren (Lernfolge), wird nunmehr angenommen, daß ein Teil dieser Faktoren zumindest steuerbar ist. Dadurch ist eine zielgerichtete Versuchsplanung überhaupt erst möglich. Für den deterministischen Fall entwickeln die Autoren sequentielle Algorithmen der Versuchsplanung, die sich z. B. bei der maschinellen Projektierung komplizierter Systeme sowie bei der Gütesteuerung in der Massenproduktion als äußerst effektiv erweisen.

B 1651 *J.-A. Müller*

Modellierung und Optimierung komplizierter Steuerungssysteme. Von *J. Z. Zypkin* (Herausg.) (in Russ.). Moskau: Nauka 1981. 272 Seiten, 86 Bilder. 6 Tafeln.

Mit diesem Sammelband, herausgegeben von dem bekannten sowjetischen Wissenschaftler *J. Z. Zypkin* (Institut für Probleme der Steuerung), soll demonstriert werden, wie die Ideen der automatischen Steuerung und der Systemtheorie in die verschiedenen Einzelwissenschaften, wie Biologie, Medizin, Ökonomie, Soziologie u. a. eindringen und andererseits neue Aufgaben dieser Disziplinen zu neuen theoretischen Ideen führen, die letztlich die Theorie der automatischen Steuerung vielfach bereichern und weiterentwickeln.
Der Sammelband enthält Arbeiten zu folgenden Gebieten:

- Identifikation und optimale Steuerung
- rechentechnische Systeme
- große Systeme
- Robotertechnik und medizinisch-biologische Aufgaben der Steuerung
- technische Hilfsmittel der Steuerung.

Neben allgemeinen Fragen der Theorie der Modellierung und optimalen Steuerung sowie Optimierung von Systemen zur Steuerung komplizierter Systeme, wobei insbesondere die Anwendung der modernen Rechentechnik eine gemeinsame Klammer dieser Arbeiten darstellt, enthält dieser Sammelband Arbeiten zur Entwicklung und Anwendung adaptiver Algorithmen und der adaptiven Filter.
Für konkrete Aufgaben, wie Projektierung automatischer Systeme, Projektierung von Mensch-Maschine-Steuerungssystemen u. a., werden genaue Lösungsverfahren bzw. Näherungsverfahren angeboten, mit deren Hilfe eine Erhöhung der Zuverlässigkeit, Effektivität, eine Verbesserung der Güte der Produktionsplanung oder Wirtschaftsleitung u. a. erreichbar sind.
Der Wert dieses Sammelbandes liegt zweifellos in der Darstellung des erreichten Entwicklungsstandes auf einer großen Anzahl von Wissenschaftsgebieten, es werden die Perspektiven und Entwicklungstendenzen der modernen Wissenschaften sichtbar.

B 1650 *J. Peters*

Logisch-linguistische Modelle in Steuerungssystemen. Von *D. A. Pospelow* (in Russ.). Moskau: Energoisdat 1981. 232 Seiten, 76 Bilder, 13 Tafeln.

Für große und komplizierte technische Automatisierungsobjekte war es aus einer Reihe von Gründen notwendig, neue Wege bei der Beschreibung der Steuerungsstrategie zu beschreiten. Ein Grund besteht in der fehlenden Möglichkeit, genaue quantitative Abhängigkeiten zwischen Einflußgrößen und Parametern zu bestimmen. Deshalb ist der Übergang von den bekannten klassischen Modellen der Steuerungstheorie zu anderen geeigneten Modellen notwendig. Das Buch trägt diesem Sachverhalt Rechnung und stellt logisch-linguistische Modelle vor, die die Grundlage für eine zu entwickelnde Steuerungsstrategie darstellen.
Der Autor betrachtet verschiedene Methoden zur Beschreibung beobachtbarer Zustände. Dazu werden Sprachen mit entwickelter Semantik und Methoden zur Aufstellung von Modellen der gewonnenen Erkenntnisse, mit denen qualitative Abhängigkeiten und Gesetzmäßigkeiten beschrieben werden können, vorgestellt. Aufbauend auf den logisch-linguistischen Modellen und bei Anwendung von EDV-Anlagen werden Verfahren zur Ermittlung einer geeigneten Steuerung beschrieben.
Das Buch gliedert sich in sieben Kapitel: Im ersten Kapitel wird eine Übersicht über Steuerungssysteme gegeben, beginnend mit endlichen Automaten, adaptiven rückgekoppelten Systemen bis hin zu logisch-linguistischen Steuerungsmodellen, die logische Beziehungen zur Informationsverarbeitung benutzen, die in linguistischer Form dargestellt sind. Die folgenden beiden Kapitel sind der Darstellung von Daten in Steuerungssystemen gewidmet. Abgeleitet aus natürlichen Sprachen werden Grundlagen für logisch-sprachliche Beschreibungsformen von Zuständen vorgestellt. Als Mittel dienen die Algebra der Logik, die Mengenlehre und die Graphentheorie. Möglichkeiten der Vervollständigung und Verallgemeinerung der Daten in Steuerungssystemen werden im vierten Kapitel behandelt. Das umfangreiche fünfte Kapitel enthält eine Reihe von Verfahren zur Entscheidungsfindung aufgrund logisch-linguistischer Modelle (z. B. deduktiver Schluß).
Die beiden letzten Kapitel sind realisierten Steuerungssystemen gewidmet: Steuerung der Schiffsbewegung im Hafen, Steuerung der Zementproduktion im Drehrohrofen, Steuerung eines Energieversorgungssystems u. a.
Anhand der zahlreichen Beispiele und des ausführlichen Literaturverzeichnisses kann der interessierte Leser tiefer in die Problematik solcher Steuerungssysteme eindringen, die nach dem Prinzip eines Beraters bzw. Entscheidungsvorbereiters für einen Dispatcher/Operateur arbeiten.

B 1638 *G. Müller*

Diskrete dynamische Optimierung. Von *H.-J. Sebastian* und *N. Sieber*. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G. 1981. 272 Seiten, 30 Bilder, 69,— Mark.

An einführenden und lehrbuchartigen Darstellungen der dynamischen Optimierung als Methode zur optimalen Steuerung mehrstufiger Entscheidungsprozesse ist kein Mangel, seit 1957 das Originalwerk von *Bellman* erschien. So besteht das Hauptziel des Buches darin, neue mathematische Forschungsergebnisse in zusammengefaßter, methodisch aufbereiteter Form vorzustellen (Kapitel 2 und 3). Sie beziehen sich auf die Parameterabhängigkeit diskreter mehrstufiger Entscheidungsprozesse, wobei über die zeitabhängigen Parameter entweder die vollständige oder nur eine unvollständige Information verfügbar ist. Bei vollständiger Information interessiert die Empfindlichkeit bezüglich der Parameter unter Bezug auf das deterministische Grundmodell, zu dem die bekannte Bellmannsche Funktionalgleichung gehört. Dagegen sind bei unvollständiger Information verschiedene Modellierungsvarianten möglich, die zu qualitativ anderen Aussagen führen; das grundlegende Ergebnis ist eine erweiterte Bellman-Gleichung. Erweiterungen der Theorie zielen in Richtung auf nichtadditive und vektorwertige Zielfunktionen sowie auf unendlichstufige Prozesse.
Als Beispiele werden Transport-, Umschlags- und Lagerhaltungsprobleme des Bauwesens angeführt und teilweise auch durchgerechnet. Die Monographie erhebt nicht den Anspruch, die Theorie der optimalen diskreten Prozesse umfassend darzustellen, da die zweite Entwicklungslinie, das diskrete Maximumprinzip, nicht behandelt wird.
Das erste Kapitel hat lehrbuchartigen Charakter; es gibt eine Einführung in die Grundlagen der diskreten dynamischen Optimierung. Ausgehend von mehreren gut ausgewählten Beispielen wird das Grundmodell entwickelt und daran die Bellmansche Gleichung hergeleitet. Fragen der Existenz und Eindeutigkeit bei konvexen Aufgaben sowie Modifikationen der Grundaufgabe runden die Darstellung ab. Besonders gelungen erscheint die ausführliche Behandlung dreier Beispiele mit analytischer, tabellarischer bzw. algorithmisch-numerischer Lösung.

B 1645 *H.-L. Burmeister*

Management Applications of Systems Theory. Von *C. V. Negoita* (in Russ.). Moskau: Mir 1981. 180 Seiten.

Mit der zunehmenden Anwendung mathematischer Methoden zur Beschreibung und Analyse komplizierter nichttechnischer Systeme, z. B. sozialer, ökonomischer, ökologischer u. a., wird es dringlicher zu berücksichtigen, daß die der mathematischen Modellierung zugrunde liegende Information oftmals auf Experteninformation beruht, die einer exakten quantitativen Beschreibung nicht zugänglich ist, sondern lediglich einer verschwommenen unscharfen Beschreibung. Mit der Entwicklung der Theorie der unscharfen Mengen (fuzzy sets) entstand die Möglichkeit, verstärkt auch diesen Aspekt bei der Modellierung zu berücksichtigen. Im Unterschied zu klassischen Konzeptionen unterscheiden sich die Elemente einer unscharfen Menge im Grad der Zugehörigkeit zu dieser Menge. Gegenwärtig wird die Theorie in allen Ländern verstärkt entwickelt und zur Beschreibung und Analyse realer Systeme angewendet. Der rumänische Wissenschaftler *Negoita* hat sich in dieser Richtung bereits seit Jahren äußerst verdient gemacht. Mit diesem Buch stellt er sich die Aufgabe, die Möglichkeiten der Theorie der unscharfen Mengen im Rahmen der modernen Systemtheorie und der Theorie der optimalen Steuerung zu untersuchen. Systematisch werden Modellierungs- und Analyseverfahren für verschiedenartige Systeme behandelt, Schwerpunkt der Darlegungen sind dabei Systeme mit einem Verhalten, das nur eine unscharfe Beschreibung zuläßt. Die Darlegungen erfordern gute mathematische Kenntnisse u. a. in der Mengenlehre, der Steuerungstheorie, aber auch in den Grundlagen der Theorie der unscharfen Mengen selbst.
Die Darlegungen illustriert der Autor vorrangig mit Anwendungen und Beispielen aus der Ökonomie. In diesem Zusammenhang sind die Methoden zur „flexiblen", „robusten" und zur „unscharfen" Optimierung von besonderem Interesse.

B 1049 *K.-H. Winter*

Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit technischer Anlagen und Geräte. Von *H. Rosemann.* Westberlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1981. 188 Seiten, 96 Bilder.

Der Autor verfolgt mit dem Buch zwei Ziele: 1. Darstellung des Nutzens der Zuverlässigkeitsarbeit, 2. Behandlung numerischer Verfahren zur Berechnung von Zuverlässigkeitskenngrößen. Dementsprechend werden in den ersten Kapiteln die nötigen theoretischen Grundlagen bereitgestellt: 1. Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung, 2. Einfache Systemstrukturen, 3. Monotone Systeme bei fester Zeit, 4. Zeitabhängige Zuverlässigkeitskenngrößen monotoner Systeme und 5. Markov-Modelle. Diese Darlegungen bieten dem Fachmann nichts Neues; sie erreichen insbesondere nicht den Umfang und das wissenschaftliche Niveau der im gleichen Verlag erschienenen Bücher von *W. Schneeweiss*: Zuverlässigkeitstheorie (1973) und von *U. Höfle-Isphording*: Zuverlässigkeitsrechnung (1978).
Im letzten Teil des Buches nutzt der Autor die dargestellten zuverlässigkeitstheoretischen Methoden bei der Schwachstellenanalyse technischer Systeme. Im Einklang mit den genannten Zielstellungen geht er dabei von folgender Prämisse aus: „Ergebnisse von Betriebsfestigkeitsuntersuchungen sind stets kritisch zu bewerten. Ihr Sinn liegt häufig weniger in der Bestimmung von Lebensdauerwerten, als vielmehr im Vergleich unterschiedlicher Konstruktionslösungen oder in der vergleichenden Beurteilung verschiedener Belastungsprogramme für eine Anlage im Hinblick auf deren Lebensdauer." Unter diesem Aspekt untersucht er Wälzlagersysteme, Antriebsanlagen eines Schiffes und Schaltanlagen zur Elektroenergieversorgung.
Das Werk unterscheidet sich von der Mehrzahl der bisher erschienenen Bücher über Zuverlässigkeitstheorie durch eine detaillierte und erschöpfende Behandlung realer praktischer Beispiele, wodurch vor allem dem Praktiker die Bedeutung einer theoretisch fundierten Zuverlässigkeitsarbeit deutlich gemacht wird. Als erste Lektüre über Zuverlässigkeitstheorie und -praxis ist das Buch sehr zu empfehlen. Der Autor hat mit dieser Veröffentlichung einen wirksamen Beitrag zur umfassenden Nutzung der Zuverlässigkeitstheorie geleistet.

B 1600 *F. Beichelt*

Graphentheorie, Grundlagen und Anwendungen. Von *J. Perl.* Wiesbaden: Akademische Verlagsgesellschaft 1981. 220 Seiten.

Die Graphentheorie fördert das strukturelle Denken und ist deshalb für Elektroniker und Automatisierungstechniker eine wichtige Grundlage geworden. Das Buch aus einer Reihe „Studientexte/Informatik" kann jedem empfohlen werden, der sich ein solides Fundament erarbeiten möchte. Drei Hauptkapitel (1. Begriffe und Eigenschaften; 2. Probleme und Algorithmen auf Graphen, 3. Netze) werden abgehandelt. Da wird gut gegliedert, kompetent zur Sache geredet, in einer Sprache, die verständlich und teilweise wohltuend würzig und humorvoll ist. Eine beträchtliche Stoffmenge wird bewältigt. Wie macht das der Autor? 1. Durch Verzicht auf manchen strengen Beweis und 2. durch Einsatz von ALGOL 60; als Kurzsprache zur Beschreibung von Algorithmen und als Programmiersprache für komplette Programme.
Auf ein typisches Problem, das das vorliegende Buch mit anderen vergleichbaren gemeinsam hat, muß der Techniker hingewiesen werden: Wenn man sich gutwillig im 1. Kapitel durch die Begriffe und Definitionen durchgebissen hat, wird man im 2. Kapitel natürlich den Preis für die aufgewendete Mühe erwarten. Da findet man aber „nur" die klassischen Probleme:
Graphenisomorphie, Optimierungsprobleme (Handlungsreisender, lineare Optimierung) u. ä.
Die „außermathematischen" Leistungen der Elektrotechnik und Kybernetik, wie Struktur-, Bond- und Flußgraphen, bleiben unberücksichtigt. Die grundlegenden Gedanken von *G. Kirchhoff*, die allgemein als eine Wurzel der Graphentheorie angesehen werden, sucht man im Buch vergebens.
Hier klafft wieder die Lücke zwischen Mathematik und Technik, hier ist der Ansatz für die noch ungeschriebenen Bücher.
Wer sich mit dem Aufbau von Leitungsstrukturen befaßt oder die Effektivität bestehender Leitungsstrukturen untersucht, wird an einem Beispiel, das in mehrfacher Modifikation das Buch durchzieht, manchen Hinweis auf graphentheoretische Analysemethoden finden.

B 1599 *B. Rodenbeck*

Geräteunabhängige graphische Systeme. Herausg.: *J. Encarnacao* und *W. Straßer.* München/Wien: R. Oldenbourg Verlag 1981. 484 Seiten, 132 Bilder, 11 Tafeln.

„In Zusammenhang mit dem Begriff ‚Grafische Datenverarbeitung' denkt man auch heute noch meist primär an die klassische Liniengrafik. Tatsächlich darf jedoch der Einsatz von Rastergrafik nicht übersehen werden, auch wenn hier noch nicht so viele Erfahrungen aus Anwendungen vorliegen wie für die Liniengrafik."
Die Darmstädter Kolloquien widmen sich seit Initiierung 1976 solchen Wissensgebieten, die sich in stürmischer Fortentwicklung befinden (etwa Mikroprozessoren). Im dritten Kolloquium (13 Termine im Winter 1980/81) wurde in 27 Beiträgen zu Fragen der Entwicklung, Implementierung und Normung des grafischen Kernsystems GKS sowie zu dessen Anwendungen vorgetragen.
Die grafische Datenverarbeitung wurde durch zwei Entwicklungen um 1975 entscheidend beeinflußt: a) fallende Hardwarekosten (auch hier wird die Software zum teuersten Teil) und b) Rastertechnologie. Insbesondere die Anwender verlangten eine einheitliche Terminologie und eine gewisse Systemportabilität. 1976 wurden die ersten Einigungen zwischen den Interessenten an einem grafischen Kernsystem erzielt. Die Anzahl der GKS-Funktionen wurde von 36 (Version 1.0) auf 133 (Version 6.2) im Jahre 1980 erweitert. Die Gründung eines GKS-Vereins soll die Verbreitung, Anwendung und Einheitlichkeit von

GKS fördern helfen. Auf internationaler Ebene wirkt in diesem Sinne die working-group 2 der ISO/TC97/SC5/WG2-graphics, wo auch RGW-Vertreter mitarbeiten.

Bei den ersten Implementierungen (wie KL) wurden die Grundkonzepte des GKS unterstützt, so die Portabilität (Übertragbarkeit der Implementierung zu jeder Rechenanlage, die über einen FORTRAN-66-Compiler verfügt), Geräte- und Treiberunabhängigkeit (an einem Gerät etwa nicht vorhandene Funktionen können durch geräteunabhängige Software realisiert werden; einfache Gerätetreiberfunktionen wie OPEN DEVICE lassen sich in einer Stunde schreiben), Erweiterbarkeit des Systems (aus einer übergeordneten Familie von 6 GKS-Systemen kann durch Weglassen bestimmter Funktionen jede spezielle Version extrahiert werden), hohe Wartungsfreundlichkeit (strenge Moduleinteilung erlaubt lokal begrenzte Änderung; der Übergang von Version 5.2 auf 6.2 war in zwei Wochen möglich).
Dieser Softwarebaustein hat zu seiner Umgebung drei Schnittstellen: a) Benutzerschnittstelle (hier setzen alle Anwendungsprogramme auf), b) die DI/DD-Schnittstelle (sie trennt die geräteunabhängige Software von den geräteabhängigen Teilen, Treibern) und c) Schnittstellen zu Utiliy-Funktionen. b) und c) werden als Tabellen beschrieben.

Andere Implementierungen, etwa für Tragwerksberechnungen (für alle Bildschirmarten) oder Astronomieauswertungen, konnten vorgestellt werden (letztere in nur einer Woche auf eine andere Maschine übertragen).

Ein Beitrag untersuchte den Rechenzeitaufwand und die Datenübertragungsraten und zeigte, daß die Leistungsgrenzen der meisten modernen Rechner der Mini-Klasse überschritten werden.
Die zehn Beiträge von Anwendern wiesen ihrerseits deutlich auf die Notwendigkeit einer Standardisierung (s. rd (1981) H. 8, S. 14ff.) hin (es gibt z. Z. mindestens 163 Hersteller grafischer Produkte, so daß die Inkompatibilität vorprogrammiert erscheint). So wurde u. a. auf Beurteilung, Behandlung und Darstellung statistischer Daten nach verschiedenen Kriterien eingegangen. Breiteren Raum nahmen die Anwenderbeiträge der Computergrafik für Kartografie, Kartiersysteme, Liegenschaftsdienst ein. Kern-, Raumforschung und Verfahrenstechnik wurden als weitere Grafikanwender vorgestellt.

Ein Versuch, einen Weg zu einer formalen Spezifikation von GKS zu finden, sei hier besonders hervorgehoben. So wurden ein formales Referenzsystem für grafische Ausgabe und Modelle von Ausgabesystemen vorgestellt. Ein Problem bei der Nutzung grafischer Datenverarbeitung in Rechnernetzen wird die Übertragungsgeschwindigkeit sein; so lange bei 48 Kbaud noch 100 s zum Bildaufbau benötigt werden, kann nicht von interaktivem Dialog gesprochen werden.
Die Standardisierung des grafischen Kernsystems GKS stellt eine wichtige Voraussetzung für den breiten wirtschaftlichen Einsatzes der grafischen Datenverarbeitung dar. Im Anschluß an die Normung ist mit der Entstehung vielfältiger Anwendungssoftware zu rechnen, die aufgrund ihrer Schnittstellenkompatibilität zu einem günstigen Preis-/Leistungsverhältnis erhältlich sein wird. Gleichzeitig mit dieser Entwicklung im Anwendungsbereich ist der Trend von Forschungsvorhaben, die die Möglichkeit der Mikroelektronik für zukünftige Grafiksysteme erschließen sollen, sichtbar. Die wertvolle Sammlung an fundierten Beiträgen (die Schreibweise „grafisch" statt „graphisch" setzt sich nur zögernd durch) wird ergänzt durch einen Anhang mit den Abschnitten 1. bis 4. der GKS-Version 6.4 sowie dem Stand der Diskussion hierzu (Februar 1981). Ein Anschriftenverzeichnis der 37 Verfasser beschließt das didaktisch geschickt gegliederte Werk.

B 1597 *H.-J. Bartsch*

Die Redaktion wünscht ihren verehrten Lesern und Autoren im In- und Ausland ein frohes und gesundes Weihnachtsfest sowie ein glückliches und erfolgreiches Jahr 1983

*

Редакция поздравляет своих уважаемых читателей и авторов в стране и за рубежом с наступающим Новым 1983 годом и желает больших успехов, доброго здоровья и личного счастья

*

The msr editorial staff wishes its honoured foreign and native readers and authors a sound and merry Christmas as well as a happy and successful year 1983

*

La rédaction de msr souhaite à ses étrangers et indigènes lecteurs ét auteurs honorés une saine et joyeuse fête du Noël ainsi qu'une bonne année 1983 couronnée de succès

Hierbei handelt es sich um neue Titel aus der UdSSR, die dem sowjetischen Neuerscheinungsdienst „Novye knigi" entnommen sind. Die Bücher können über den Volksbuchhandel bestellt werden.

[1] Mikroelektronnye ustrojstva v sistemach upravlenija stankami (Mikroelektronische Anlagen in Steuerungssystemen für Werkzeugmaschinen). Mašinostroenie. 4. Quart. 1983. NK-No. 18–82 (156).

[2] *Daniľčenko, I. A.; Mjasnikov, V. A.; Četvernikov V. N.:* Avtomatizirovannye sistemy upravlenija predprijatijami (Automatisierte Systeme zur Steuerung von Betrieben). Mašinostroenie 2. Quart. 1983. NK-No. 18–82 (255).

[3] *Borisenko, A. S.; Bavykin, N. I.:* Technologija i oborudovanie dlja proizvodstva mikroelektronnych ustrojstv (Technologie und Anlagen zur Produktion mikroelektronischer Geräte). Mašinostroenie. 1. Quart. 1983. NK-No. 18–82 (283).

[4] *Titov, N. D.; Sergeev, L. N.:* Osnovy avtomatizacii litejnogo proizvoastva i vyčislitel'naja technika (Grundlagen der Automatisierung der Gießproduktion und Rechentechnik). Mašinostroenie. 1. Quart. 1983. NK-No. 18–92 (305).

[5] *Kemkin, V. I.:* Kategorija „sostojanie" v naučnom poznanii (Kategorie „Zustand" in der wissenschaftlichen Erkenntnis). Vyš. škola. 3. Quart. 1983. NK-No. 19–82 (16).

[6] *Lezgina, M. L.:* Determinizm prognozirovanija (Determinismus der Vorhersage). Izd-vo Leningr. un-ta, 1. Quart. 1983. NK-No. 19–82 (18).

[7] *Archipov, A. V.:* Evrističeskie metody v upravlenii proizvodstvom (Heuristische Methoden in der Steuerung der Produktion). Izd-vo Leningr. un-ta. 2. Quart. 1983. NK-No. 19–82 (39).

[8] *Taldykin, A. T.:* Matematičeskij analiz stochastičeskich processov (Mathematische Analyse stochastischer Prozesse). Izd-vo Leningr. un-ta. 1. Quart. 1983. NK-No. 19–82 (52).

[9] *Sidorov, Ju. E.:* Statističeskij sintez rešajuščich sistem pri apriornoj neopredelennosti (Statistische Synthese von Systemen zur Entscheidungsfindung bei A-priori-Unbestimmtheit). Izd-vo Leningr. un-ta. 3. Quart. 1983. NK-No. 19–82 (67).

[10] *Čirkov, M. K.:* Častičnye avtomaty (Partielle Automaten). Izd-vo Leningr. un-ta. 1. Quart. 1983. NK-No. 19–82 (68).

[11] Vyčislitel'naja technika i voprosy kibernetiki. Vyp. 20: Analiz i sintez diskretnych ustrojstv (Rechentechnik und Fragen der Kybernetik. Ausg. 20: Analyse und Synthese diskreter Anlagen). Izd-vo Leningr. un-ta. 1. Quart. 1983. NK-No. 19–82 (87).

[12] Adaptivnye sistemy avtomatičeskogo upravlenija (Adaptive Systeme der automatischen Steuerung). Izd-vo Leningr. un-ta. 2. Quart. 1983. NK-No. 19–82 (271).

[13] *Mil'ner, B. Z.; Evenko, L. I.; Rapoport, V. S.:* Sistemnyj podchod k organizacii upravlenija (Systemherangehen an die Organisation der Steuerung). Ekonomika. 1. Quart. 1983. NK-No-20–82 (36).

[14] *Ertli-Kajakob, P.:* Ekonomičeskaja kibernetika na praktike (Ökonomische Kybernetik in der Praxis). Ekonomika. 4. Quart. 1983. NK-No. 20–82 (54).

[15] Inženernaja psichologija (Ingenieurpsychologie). Ekonomika. 3. Quart. 1983. NK-No. 20–82 (59).

[16] *Bjalkovskaja, V. S.:* Programmno-celevye metody v razvitii promyšlennosti (Programm-Ziel-Methode in der Entwicklung der Industrie). Ekon omika. 3. Quart. 1983. NK-No. 20–82 (82).

[17] *Efimenkov, V. I.:* Effektivnost' kompleksnoj mechanizacii i avtomatizacii (Effektivität der komplexen Mechanisierung und Automatisierung). Ekonomika. 1. Quart. 1983. NK-No. 20–82 (83).

[18] *Čabrovskij, V. A.:* Prognozirovanie razvitija nauki i techniki (Vorhersage der Entwicklung von Wissenschaft und Technik). Ekonomika. 4. Quart. 1983. NK-No. 20–82 (95).

[19] *Grebnev, A. I.; Pol'kin, A. V.; Špagin, A. F.:* ASU v torgovle (ASU im Handel). Ekonomika. 3. Quart. 1983. NK-No. 20–82 (104).

[20] *Mar'jachin, G. Ja.:* Proizvoditel'nost' truda v sel'skom chozjajstve: faktornyj analiz i prognozirovanie (Produktivität der Arbeit in der Landwirtschaft: Faktoranalyse und Vorhersage). Ekonomika. 2. Quart. 1983. NK-No. 20–82 (134).

[21] Dinamičeskie sistemy. Vyp. 2 (Dynamische Systeme. Ausg. 2). Izd-vo Kievskogo un-ta. 1. Quart. 1983. NK-No. 23–82 (48).

[22] Mašinnaja obrabotka informacii. Vyp. 36 (Maschinelle Informationsverarbeitung. Ausg. 36). Izd-vo Kievskogo un-ta. 1. Quart. 1983. NK-No. 23–82 (55).

[23] *Chasanov, M. Ch.:* Sistema, struktura, funkcija kak filosofskie kategorii (System, Struktur, Funktion als philosophische Kategorien). Fan. 4. Quart. 1983. NK-No. 24–82 (12).

[24] *Bondarenko, B. A.:* Operativnye algoritmy v differencial'nych uravnenijach (Operative Algorithmen in Differentialgleichungen). Fan (UzSSR). 1. Quart. 1983. NK-No. 24–82 (49).

[25] *Kabulov, A. V.; Zufarov, B. I.:* Logičeskie metody sinteza optimal'nych korrektorov evrističeskich algoritmov (Logische Methoden der Synthese optimaler Korrektoren heuristischer Algorithmen). Fan (UzSSR). 3. Quart. 1983. NK-No. 24–82 (61).

[26] *Abdullaev, D. A.; Aripov, M. N.; Radžabov, R. M.:* Osnovy ekspluatacii sistem peredači diskretnoj informacii (Grundlagen des Betriebs von Systemen zur Übertragung diskreter Information). Fan (UzSSR). 2. Quart. 1983. NK-No. 24–82 (130).

[27] *Bekmuratov, T. F.; Kasymov, S. S.; Zachidov, B. A.:* Matematičeskie modeli i algoritmy upravlenija v proizvodstve mineral'nych udobrenij (Mathematische Modelle und Algorithmen der Steuerung in der Produktion von Mineraldünger). Fan (UzSSR). 2. Quart. 1983. NK-No. 24–82 (131).

[28] *Kabulov, V. K.:* Algoritmičeskie metody postroenija ASU social'no-ekonomičeskich sistem (Algorithmische Methoden zur Entwicklung von ASU sozial-ökonomischer Systeme). Fan (UzSSR). 4. Quart. 1983. NK-No. 24–82 (133).

[29] *Kadyrov, A. A.:* Dinamičeskie grafovye modeli v sistemach avtomatičeskogo i avtomatizirovannogo upravlenija (Dynamische Graphenmodelle in Systemen der automatischen und automatisierten Steuerung). Fan (UzSSR). 1. Quart. 1983. NK-No. 24–82 (134).

[30] *Ubajdullaev, R. A.:* Algoritmizacija proektirovanija ASU v stroitel'stve (Algorithmierung der Projektierung von ASU im Bauwesen). Fan (UzSSR). 1. Quart. 1983. NK-No. 24–82 (137).

[31] *Jusupbekov, N. R.; Adylov, A. A.; Kuchtenko, I. P.:* Sistemy i upravlenija (Systeme und Steuerung). Fan (UzSSR). 1. Quart. 1983. NK-No. 24–82 (139).

[32] *Adylova, F. T.:* Matematičeskoe modelirovanie sistemy krovo-obraščenija (Mathematische Modellierung des Blutkreislaufs). Fan (UzSSR). 3. Quart. 1983. NK-No. 24–82 (239).

[33] *Kamilov, Ch. M.:* Kibernetičeskie metody i sredstva vyčislitel'noj techniki v oftal'mologii (Kybernetische Methoden und Rechentechnik in der Augenheilkunde). Fan (UzSSR). 4. Quart. 1983. NK-No. 24–82 (241).

[34] *Knyšov, G. V.; Mincer, O. P.; Cyganij, A. A.:* Kibernetika v serdečnoj chirurgii (Kybernetik in der Herzchirurgie). Višča škola (USSR). 1. Quart. 1983. NK-No. 24–82 (242).

msr 7742

Internationaler Veranstaltungskalender 1983 (Auswahl)

● 17. bis 20. Januar Guadalajara/Mexiko	IFAC-Symposium über Anwendungen von Echtzeit-Digitalsteuerungen
● 25. bis 27. Januar Orlando Fl./USA	Symposium über Zuverlässigkeit und Instandhaltung
● 16. bis 23. Februar Brno/ČSSR	INTRAMA. Internationale Ausstellung für Manipulations- und Lagertechnik
● 14. bis 16. März Budapest	IMEKO-Symposium des TC 12 (Temperaturmessung) über Wärmeleitfähigkeitsmessung
● 13. bis 20. März Leipzig	LFM 83. Leipziger Frühjahrsmesse
● 12. bis 15. April Budapest	MIPEL. Internationale Ausstellung für industrielle Elektronik und Gerätebau
● 13. bis 20. April Hannover	Hannover-Messe '83
● 14. bis 23. April Mailand/ Italien	Internationale Messe Mailand
● 18. bis 24. April Zagreb/ SFR Jugosl.	Internationale Zagreber Frühjahrsmesse
● 19. bis 21. April Chikago/ USA	13. ISIR. Internationales Symposium für Industrieroboter
● 26. April bis 5. Mai Tokio	Internationale Messe
● 9. bis 13. Mai Zagreb/ SFR Jugosl.	INTERLABOR. Internationale Messe von Laborausrüstungen
● 10. bis 12. Mai Budapest	IMEKO-Symposium des TC 8 (Metrologie) über theoretische und praktische Grenzen der Meßgenauigkeit
● 17. bis 20. Mai Birmingham/GB	AUTOMAN 83. 2. Internationale Konferenz und Ausstellung über automatisierte Fertigung
● 17. bis 19. Mai Sindelfingen/ BRD	Sensor 83
● 18. bis 26. Mai Budapest	Budapester Internationale Frühjahrsmesse. Technische Messe
● 25. Mai bis 8. Juni Moskau	Internationale Ausstellung. Automatisierungsmittel für den Arbeitsprozeß
● 8. bis 11. Juni Bukarest	5. Internationale Konferenz über Regelungssysteme und Computerwissenschaft
● 12. bis 21. Juni Poznan/ VR Polen	55. Internationale Messe
● 17. bis 19. Juni Washington	4. IFAC/IFORS-Konferenz über Modellierung und Steuerung volkswirtschaftlicher Systeme
● 20. bis 23. Juni Dallas/USA	Design Automation Conference (Konferenz über automatisierten Entwurf)
● 27. Juni bis 1. Juli München	LASER 83 / OPTOEIEKTRONIK. Internationaler Kongreß und Internationale Fachmesse
● Juni Bratislava/ ČSSR	IFAC-Symposium über Hydraulik-Systeme bei Robotern
● 6. bis 20. September Baku/ UdSSR	Internationale Ausstellung von Apparaturen und Geräten für die wissenschaftliche Forschung
● 8. bis 10. September Budapest	FLOMEKO '83. IMEKO-Symposium des TC 9 (Durchflußmeßtechnik)
● 12. bis 17. September Dubrovnik/ SFR Jugosl.	2. IMEKO-Seminar des TC 11 (Metrologische Erfordernisse in den Entwicklungsländern). Meßtraining zur Vermittlung praktischer Erfahrungen
● 19. bis 23. September Paris	IFIP-Congress '83. 9. Weltkongreß über Rechner
● 26. September bis 5. Oktober Plovdiv/ VR Bulg.	Internationale Technische Messe
● September Bern	SAMA INTERNATIONAL. Internationale Fachmesse für automatisierte Produktion
● 3. bis 5. Oktober Antwerpen/ Belg.	5. Internationale Konferenz über Instrumentation und Automation in der Papier-, Gummi- und Plastindustrie
● 4. bis 6. Oktober UdSSR	3. IMEKO-Symposium des TC 10 (Technische Diagnostik)
● 11. bis 13. Oktober Tokio	4. Internationale Konferenz über Automatisierung in der Montage
● 12. bis 15. Oktober Wien	IE. Internationale Fachmesse für industrielle Elektronik und Elektrotechnik
● 17. bis 21. Oktober München	SYSTEMS. Computermesse. Internationaler Anwenderkongreß und Fachmesse
● 18. bis 21. Oktober Budapest	μP '83. 3. Symposium für Mikrocomputer- und Mikroprozessoranwendungen
● 24. bis 28. Oktober Ilmenau	Internationales Wissenschaftliches Kolloquim
● 9. bis 15. November Düsseldorf	INTERKAMA. Internationaler Kongreß mit Ausstellung für Meßtechnik und Automatik
● Dezember Brüssel	EUREKA. Weltmesse für Erfindung, Forschung und industrielle Neuheiten

Erfahrungsgemäß ergeben sich für die angekündigten Veranstaltungen gelegentlich Terminverschiebungen oder anderweitige Veränderungen. Die Ankündigungen sind deshalb als unverbindliche Information zu betrachten.

Red.

ERAM '83

Anläßlich der Leipziger Frühjahrsmesse (13. bis 20. März 1983) findet vom 14. bis 16. März in der Karl-Marx-Universität Leipzig der wissenschaftliche Kongreß ERAM '83 „Effektive Rationalisierung und Automatisierung durch Mikroelektronik" statt. Veranstalter sind der Fachverband Elektrotechnik und die Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der Kammer der Technik. Als Kernfrage der komplexen Nutzbarmachung der Mikroelektronik werden die Komplexe

- Herstellung und Anwendung der Mikroelektronik — Mittelpunkt des wissenschaftlich-technischen Fortschritts
- Entwicklung der Integration mikroelektronischer Bauelemente und Ihre Nutzbarkeit
- Entwicklungstendenzen der Software für Mikrorechner

im Vordergrund stehen.

Führende Fachleute werden zu folgenden Problemkreisen referieren:

— Mikroelektronische Bauelemente, Geräte, Anlagen der Elektroindustrie für die Automatisierung sowie prinzipielle Fragen des Einsatzes

— Applikation mikroelektronischer Lösungen und deren Softwareprogramme in Finalprodukten der Elektroindustrie

- Applikation mikroelektronischer Lösungen und deren Softwareprogramme in verfahrens- und fertigungstechnischen Prozessen
- Rationelle Erstellung von Systemunterlagen — Bedeutung, Mittel und Wege zur umfassenden Nutzung der Mikrorechentechnik.

Interessenten richten ihre Anmeldungen bitte bis zum 10. Januar 1983 an die KDT, Präsidium, Fachverband Elektrotechnik, DDR 1086 Berlin, Clara-Zetkin-Str. 115/117.
Für ausländische Teilnehmer des Kongresses wird nach Beendigung der Veranstaltung am 16. März 1983 eine fachspezifische Messeführung organisiert.

6. Tagung „Rationalisierung von Leitungstätigkeiten im Bereich Wissenschaft und Technik"

Am 22. März 1983 veranstaltet die Sektion Sozialistische Betriebswirtschaft, WB Ökonomie der Produktionsvorbereitung, der TU Dresden gemeinsam mit der KDT-Arbeitsgemeinschaft (B) Rationelle Leitung, Planung und Organisation der technischen Produktionsvorbereitung die o. g. Tagung. Sie hat die Aufgabe, fortgeschrittene Lösungen der Leitung in Wissenschaft und Technik darzustellen, wirksamen Erfahrungsaustausch zu realisieren, über neue theoretische Erkenntnisse rationeller Leitungstätigkeit und deren Umsetzung zu informieren. Daraus ergeben sich folgende Schwerpunkte:

- Führungsaufgaben von Leitern zur Erzielung von Höchstleistungen in Wissenschaft und Technik (Führungsstil, konzeptionelle Arbeit, Planung, Wettbewerb, Schöpfertum, Stimulierung) — Sektion 1
- Arbeitsstil des Leiters und Rationalisierung in den Leitungsorganen Wissenschaft und Technik (Arbeitsstil des Leiters, Leiterarbeitsplätze, informationelle und technische Arbeitsmittel, Einsatz der EDV in der Leitung von Wissenschaft und Technik, elektronische Textverarbeitung, Organisationsmittel, Arbeit mit Anwendungsbedingungen bei Rationalisierungslösungen) — Sektion 2.

Weitere Auskünfte erteilt:
TU Dresden, Sektion Sozialistische Betriebswirtschaft, „6. Tagung", 8027 Dresden, Mommsenstr. 13.

Wiegen ohne Waage

Mit einem hydraulischen Meßverfahren, das in der LPG Pflanzenproduktion Jesewitz entwickelt wurde, ist es möglich, schon auf dem Feld das exakte Gewicht von Erntegut auf Kraftfahrzeugen zu bestimmen. Zu diesem Zweck sind an den LKW und an den Hängern jeweils 4 zusätzliche Hydraulikzylinder unterhalb der Kippritschen angebracht. Der so auf den zusammengeschalteten Zylindern lastende Durchschnittsdruck kann auf eingebauten Manometern abgelesen werden. Durch eine ebenfalls neu entwickelte Grundeichung ist eine direkte Anzeige des Ladegewichtes möglich.
(ADN WT (19) 1517-4a)

Mikrorechner in Dresdner Taxis

Mit Erfolg werden seit einiger Zeit in Dresdner Taxis Taxameter auf der Basis eines Mikrorechners erprobt. Sie wurden von einem Jugendkollektiv entwickelt und tragen die Bezeichnung „Botax 80". Der Rechner erfaßt und speichert die gefahrenen Kilometer, Wartezeiten und andere Daten, die zur Berechnung des Fahrpreises notwendig sind. Ein Tastendruck des Fahrers am Ende der Fahrt genügt, und der Kunde kann den Fahrpreis auf einer Leuchtdiodenanzeige ablesen. Außerdem wird der Kraftstoffverbrauch registriert.
(ADN-WT (19) 1518-11a)

Mikrocomputer für „Maxiwörter"

Ein Mikrocomputer, der 32 Binärstellen parallel verarbeiten kann, wurde von dem US-amerikanischen Konzern INTEL vorgestellt.
Als zu Beginn der 70er Jahre die ersten Mikrocomputer auf den Markt kamen, betrug ihre Wortbreite zunächst 4 bit. Nach einem Jahr waren die ersten Geräte mit 8 bit im Angebot der Hersteller. Die nächste Leistungssteigerung betrug dann 16 bit und hat nunmehr 32 bit erreicht. Damit schließen die Mikrocomputer in dieser Kennziffer an die Möglichkeiten der Großrechner an, deren Wortbreiten zwischen 32 und 64 bit liegen.
(ADN-BWT (19) 1512-4c)

Faseroptisches Interferometer mißt Erdkrustenbewegung

Hochempfindliche Seismometer oder optische Interferometer waren bisher nicht in der Lage, tektonische Verwerfungen oder die gegenseitige Versetzung von zwei Kontinentalschollen genau zu erfassen, besonders, wenn diese Prozesse extrem langsam ablaufen (einige cm im Jahr).
Von einem faseroptischen Interferometer versprechen sich Fachleute der Dynamic Systems Inc. in Mc Lean/USA wesentlich genauere Ergebnisse. Das neue System sieht 6 lineare Sensoren vor, die eine verdrehte Pyramide bilden. Jeder Sensor verfügt über 2 ineinander verschiebbare Zylinder und 3 Glasfasern. Aus dem Phasenverhältnis von jeweils 2 Sensoren lassen sich Interferenzmuster gewinnen, aus denen die Längenänderungen der Meßfasern abgeleitet und durch Mikrorechner automatisch ausgewertet werden können. Aus dem Vergleich der unterschiedlichen Interferenzmuster lassen sich Streckungen und Stauchungen unterscheiden.
(ADN-WT (19) 1518-5b)

Kleine Energiemengen in kürzester Zeit meßbar

Ein hochempfindlicher Breitband-Detektor, mit dem sich noch kleinste Strahlungsimpulse registrieren lassen, wurde am Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) in Garching/BRD entwickelt.
Zur genauen Verfolgung von Energieflüssen in einem Plasma werden als Detektoren sog. Bolometer eingesetzt. Das sind im wesentlichen Thermometer, bei denen die Strahlen über deren Wärmewirkung in einem temperaturabhängigen elektrischen Widerstand gemessen werden. Mit dem im IPP entwickelten Bolometer können bereits Temperaturunterschiede von 10^{-3} K mit einer Ansprechzeit von $5 \cdot 10^{-6}$ s registriert werden. Eine weitere Besonderheit des neuen Bolometertyps ist, daß er die Strahlung nur aus einem Winkelbereich von 5 Grad aufnimmt, was Sondierungen in spezielle Richtungen ermöglicht.
Hochempfindliche Bolometer eignen sich ganz allgemein zur Eichung von Diagnostikgeräten. Außerdem bietet sich eine Verwendung in Bereichen der Medizin an, in denen mit schnell reagierender und strahlungsempfindlicher Diagnostik gearbeitet wird .
(ADN-BWT (19) 1512-5c)

Gesteuerter Energieverbrauch

Eine Energieüberwachungsanlage ist im Zählerreparaturwerk Oranienburg entwickelt worden. Mit Hilfe dieses Gerätesystems kann der Stromverbrauch des gesamten Betriebes sowie beliebiger Unterverbraucher kontrolliert und gesteuert werden. Der Energieverbrauch wird kontinuierlich in der Hauptmeßstelle und in bis zu 19 Untermeßstellen digital angezeigt. An jeder Meßstelle ist eine Grenzleistung vorwählbar. Wird diese Leistung eine bestimmte Zeit lang überschritten, so werden optisches und akustisches Signal ausgelöst. Die Gerätekonfiguration wird mit jedem Anwender individuell abgestimmt. Die Minimalvariante besteht aus einer Hauptmeßstelle, einer digitalen Quarzuhr und einem Netzteil.
(ADN-WT (19) 1520-6a)

Martin, K.: IA 2.3.1.7.

Zur Stabilisierung von Systemen mit I-Anteilen durch Ausgangsrückführung

msr **25** (1982) H. 12, S. 662–666

Bei Systemen mit I-Anteilen werden häufig stabilisierende Ausgangsrückführungen gesucht. Für einen auf *Davison* und *Lunze* zurückgehenden Strukturansatz wird eine Methodik zur Stabilitätsanalyse mittels Nyquist-Kriterium vorgeschlagen. Ausgehend davon werden verschiedene hinreichende Abschätzungen angegeben, die einen reduzierten numerischen und graphischen Aufwand erfordern. An einem einfachen Beispiel wird das Vorgehen illustriert.

Sauer, W.: IA 2.6.

Einfluß der Meßunschärfe auf die Regressionsfunktion

msr **25** (1982) H. 12, S. 667–669

In der Prozeßanalyse spielen Regressionsfunktionen eine große Rolle, um stochastische Zusammenhänge zu erfassen. Durch die Meßunschärfe beim Meßprozeß wird die Regressionsfunktion verändert. Für die geänderte Regressionsfunktion wird ein allgemeiner Zusammenhang hergeleitet und auf die lineare Regression angewandt. Dabei zeigt sich, daß der Anstieg der Regressionsgeraden durch die Messung gegenüber der wahren Regression als zu klein ermittelt wird.

Liß, E. IA 1.1.7.

Logische Systeme zum strukturellen Speichern und lerntypischen Verwerten von Wissen

msr **25** (1982) H. 12, S. 669–673

Die interdisziplinäre Forschungsrichtung Künstliche Intelligenz gewinnt zunehmend an Bedeutung. Angestrebt wird die technische Modellierung von Systemen mit „denkendem Gedächtnis" zur Darstellung von Wissen für intelligente Aktionen.
Lernfähige logische Systeme können ihre logischen Strukturen und damit ihre Funktionen durch Konditionierungen während der Informationsverarbeitung so ändern, daß bedingte logische Verknüpfungen und bedingte Zuordnungen von Informationsdarstellungen resultieren.

Fülle, R.; Hartmann, B.; Hiekmann, S.; Pietzsch, G.: I.A 4.0.5;

Automatisierte Energievariation am Tandembeschleuniger EGP 10-1 auf der Grundlage eines Prozeßrechnersystems mit verteilter Intelligenz

msr **25** (1982) H. 12, S. 674–678

Es wird die automatisierte Energievariation am Rossendorfer Tandem-Beschleuniger 10-1 vorgestellt. Meß- und Prozeßdatenverarbeitung sowie die Energievariation werden durch ein Rechnersystem mit verteilter Intelligenz realisiert. Es werden die eingesetzte Gerätetechnik, das Programmsystem und das Protokoll der Rechnerkommunikation beschrieben sowie erste Erfahrungen beim Einsatz des Systems dargelegt.

Stopp, W.: IA 1.1.; 6.2.

Empfindlichkeitsanalyse an dynamischen volkswirtschaftlichen Modellen

msr **25** (1982) H. 12, S. 684–687

Für ein dynamisches Modell der Reproduktion im Kapitalismus (Marx' Reproduktionsschemata) wird eine Empfindlichkeitsanalyse bez. der Parameter (Akkumulationsrate, organische Zusammensetzung des Kapitals, Mehrwertrate usw.) durchgeführt; so wird die Untersuchung politökonomischer Probleme unterstützt.
Zum Verhalten der Empfindlichkeitsfunktionen konnten theoretische Ergebnisse nachgewiesen werden.

Balzer, D.; Böhme, B.: IA 2.8.3.2.

Zur Abschätzung der Softwarezuverlässigkeit in automatisierten Steuerungssystemen

msr **25** (1982) H. 12, S. 687–690

Systemunterlagen spielen bei der Automatisierung eine immer größere Rolle. Damit steigt die Rolle der Softwarezuverlässigkeit. Es werden theoretische und praktische Gesichtspunkte für die quantitative Bewertung der Softwarezuverlässigkeit erörtert. Darüber hinaus werden Hinweise für die Erhöhung der Softwarezuverlässigkeit gegeben und praktische Erfahrungen mitgeteilt.

Boneß, R.; Doehl, U.: IA 1.1.3.0.

Zu Problemen der numerischen Lösung „steifer" Differentialgleichungssysteme für regelungstechnische Aufgabenstellungen

msr **25** (1982) H. 12, S. 691–694

Bei der Simulation von Vorgängen in dynamischen Systemen macht es sich für praktische Anwendungsfälle häufig erforderlich, Integrationsprogramme bereitzustellen, die auch für „steife" Differentialgleichungen stabile Lösungen mit ausreichender Genauigkeit so schnell berechnen, daß sie Echtzeitanforderungen besser gerecht werden können. Dazu sind, ausgehend von der gewichteten Trapezregel, die Methoden der Filterung, der exponentiellen Anpassung und der Extrapolation untersucht und in einem PL/1-Programmpaket zusammengestellt worden.

Martin, K.: IA 2.3.1.7.

О стабилизации систем с И-составляющими при помощи выходной обратной связи

msr **25** (1982) № 12, стр. 662–666

При системах с И-составляющими часто искаются стабилизирующие выходные обратные связи. Для подхода структуры, своженного к Дависон и Лунце, предложена методика для анализа устойчивости при помощи критерия Найквиста. Исходя из этого указаны различные достаточные оценки, требующие сокращенные числовые и графические затраты. На простом примере действие иллюстрировано.

Sauer, W.: IA 2.6.

Влияние отсутствия четкости измерения на функцию регрессии

msr **25** (1982) № 12, стр. 667–669

При анализе процесса функции регрессии играют большую роль, для сбора стохастических связей. Путем отсутствия четкости измерения при процессе измерения функция регрессии изменяется. Для измененной функции регрессии выведена общая связь, которая применяется для линейной регрессии. При этом показано, что нарастание прямых регрессии путем измерения по сравнению с истинной регрессией определено как слишком малым.

Liß, E.: IA 1.1.7.

Логические системы для структурного накопления и типичного при обучении использования знаний

msr **25** (1982) № 12, стр. 669–673

Междисциплинарное направление исследования искусственного интеллекта приобретает все большее значение. Стремятся к техническому моделированию систем с „мыслительной памятью" для изображения знаний для интеллектных действий. Логические системы, способные к обучению, могут изменять свой логические структуры и тем самым свои функции путем кондиционирования в период обработки информации таким образом, что вытекают условные логические связи и условные соответствия изображений информации.

Fülle, R.; Hartmann, B.; Hiekmann, S.; Pietzsch, G.: I.A. 4.0.5;

Автоматизированная вариация энергии на ускорителе-тандеме типа EGP 10-1 на основе УСО с распределенным интеллектом

msr **25** (1982) № 12, стр. 674–678

Представлена автоматизированная вариация энергии на Россендорфском ускорителе-тандеме 10-1. Обработка данных измерения и процесса, а также вариация энергии осуществляются при помощи вычислительной системы с распределенным интеллектом. Описаны применяемая аппаратурная техника, программная система и протокол вычислительной коммуникации и представлен первый опыт при применении системы.

Stopp, W.: IA 1.1.; 6.2.

Анализ чувствительности динамических народнохозяйственных моделей

msr **25** (1982) №. 12, 684–687

Для динамической модели воспроизводства в капитализме (схемы воспроизводства Маркса) проведен анализ чувствительности относительно к параметрам (норма накопления, органическое строение капитала, норма прибавочной стоимости и т. д.); так поддерживается исследование проблем политической экономии. Были доказаны теоретические результаты к поведению функций чувствительности.

Balzer, D.; Böhme, B.: IA 2.8.3.2.

Об оценке надежности матобеспечения в автоматизированных системах управления

msr **25** (1982) № 12, стр. 687–690

Системные документации при автоматизации играют всё большую роль. Тем самым повышается роль надежности матобеспечения. Обсуждены теоретические и практические аспекты для количественной оценки надежности матобеспечения. Кроме того, даны указания для повышения надежности матобеспечения и сообщен практичкский опыт.

Boneß, R., Doehl, U.: IA 1.1.3.0.

О проблемах числового решения „жестких" систем дифференциальных уравнений для заданий в области техники регулирования

msr **25** (1982) № 12, стр. 691–694

При моделировании процессов в динамических системах для практических случаев применения часто необходимо, чтобы иметь программы интеграции, которые также и для „жестких" дифференциальных уравнений так быстро расчисляют стабильные решения с достаточной точностью, что они лучше могут отвечать требованиям в истинном масштабе времени. Для этого, исходя из важного правила трапеции, исследованы методы фильтрации, экспоненциального согласования и экстраполяции и обобщены в программный пакет ПЛ/I.

SUMMARIES

Martin, K.: IA 2.3.1.7.

On the Stabilization of Systems Containing Integral Action by Use of Output Feedback

msr **25** (1982) No. 12, pp. 662—666

In the case of systems containing integral action stabilizing output feedback is often looked for. Using a structural statement formulated by Davison and Lunze the author proposes a method for stability analysis by means of the Nyquist criterion. Applying this approach he represents different sufficient estimations requiring a reduced numerical and graphical expense. The method is illustrated by means of a simple example.

Sauer, W.: IA 2.6.

The Influence of the Measurement Fuzzyness on the Regression Function

msr **25** (1982) No. 12, pp. 667—669

In the process analysis regression functions are very important for the acquisition of stochastic relations. The measurement fuzzyness arising in the measurement process influences the regression function. For the changed regression function the author derives a general relation and applies it to the linear regression. With this, it results that the slope of the regression line due to measurement is less than that of the true regression.

Liß, E.: IA 1.1.7.

Logical Systems for Structural Storing and Learning Processing of Knowledge

msr **25** (1982) No. 12, pp. 669—673

The artificial intelligence as an interdisciplinary direction of research becomes more and more important. The object is the technical modeling of systems with thinking memory in order to represent knowledge for intelligent actions. Learning logical systems are able to change their logical structures and functions by conditioning in such a way that conditioned logical relations and correspondences of information representations result.

Fülle, R.; Hartmann, B.; Hiekmann, S.; Pietzsch, G.: IA 4.0.5.

Automated Energy Variation with the Tandem Accelerator EGP 10-1 by Means of a Process Computer System with Distributed Intelligence

msr **25** (1982) No. 12, pp. 674—678

The authors present the automated energy variation with the Rossendorf tandem accelerator 10-1. Measurement and process data processing as well as the energy variation are carried out by a computer system with distributed intelligence. The applied devices, the programme system and the computer communication protocol are described and first experiences from the use of the system are explained.

Stopp, W.: IA 1.1.; 6.2.

Sensitivity Analysis for Dynamic Models of National Economy

msr **25** (1982) No. 12, pp. 684—687

For a dynamic reproduction model of capitalism (Marx's reproduction scheme) the author carries out a sensitivity analysis relative to accumulation rate, organic capital composition and surplus value rate thus supporting the study of problems in political economy. As to the behavior of the sensitivity functions the author presents theoretical results.

Balzer, D.; Böhme, B.: IA 2.8.3.2.

On the Estimation of the Software Reliability in Automated Control Systems

msr **25** (1982) No. 12, pp. 687—690

System documents become more and more important in automation. With this the rôle of software reliability increases. The authors discuss theoretical and practical aspects for the quantitative valuation of the software reliability. Furthermore, hints for improving the software reliability are given and practical experiences are presented.

Boneß, R.; Doehl, U.: IA 1.1.3.0.

On Problems of the Numerical Solution of Stiff Differential Equation Systems for Feedback Control Applications

msr **25** (1982) No. 12, pp. 691—694

With the simulation of dynamical systems it is often necessary to dispose of integration programmes which calculate, also for stiff differential equations stable solutions with sufficient accuracy rapidly enough that realtime requirements are better met. For this, on the base of the weighted trapezoid formula the authors have studied the methods of filtering, exponential adaptation and extrapolation and put them together in a PL/1-programme package.

RÉSUMÉS

Martin, K.: IA 2.3.1.7.

Sur la stabilisation de systèmes à action intégratrice par retour de sortie

msr **25** (1982) No. 12, pp. 662—666

En cas de systèmes à action intégratrice, des retours de sortie stabilisants sont souvent cherchés. Pour une proposition structurelle formulée par Davison et Lunze, l'auteur propose une méthode pour l'analyse de stabilité sur la base du critère de Nyquist. En utilisant ce procédé, il présente de différentes estimations suffisantes qui exigent une dépense numérique et graphique réduite. La méthode est démontrée à l'aide d'un simple exemple.

Sauer, W.: IA 2.6.

L'influence d'un processus de mesure flou sur la fonction de régression

msr **25** (1982) No. 12, pp. 667—669

Dans l'analyse de processus, des fonctions de régression jouent un grand rôle près l'acquisition de relations stochastiques. Le processus de mesure flou influence la fonction de régression. Pour la fonction de régression changée, l'auteur dérive une relation générale et l'emploie à la régression linéaire. A cela, il résulte que la pente de la droite de régression basée sur la mesure est moindre que celle-là de la régression vraie.

Liß, E.: IA 1.1.7.

Des systèmes logiques pour la mémorisation structurelle et l'évaluation apprenante de savoir

msr **25** (1982) No. 12, pp. 669—673

L'intelligence artificielle comme recherche interdisciplinaire gagne de plus en plus de l'importance. Le but est la modélisation technique de systèmes à mémoire pensante pour la représentation de savoir pour des actions intelligentes. Des systèmes logiques à apprentissage peuvent changer leurs structures et fonctions par conditionnement durant le traitement d'information tellement que des relations logiques conditionnées et des correspondances conditionnées de représentations d'information résultent.

Fülle, R.; Hartmann, B.; Hiekmann, S.; Pietzsch, G.: IA 4.0.5.

La variation automatisée d'énergie près l'accélérateur tandem EGP 10-1 à l'aide d'un système de calculateur de processus avec intelligence distribuée

msr **25** (1982) No. 12, pp. 674—678

Les auteurs présentent la variation automatisée d'énergie près l'accélérateur tandem 10-1 à Rossendorf. Le traitement des données de mesure et de processus ainsi que la variation d'énergie sont exécutés par un système de calculateur à intelligence distribuée. Les dispositifs utilisés, le système de programme et le protocole de la communication de calculateur sont décrits ainsi que de premières expériences de l'emploi du système sont expliquées.

Stopp, W.; IA 1.1.; 6.2.

L'analyse de sensibilité pour des modèles dynamiques de l'économie politique

msr **25** (1982) No. 12, pp. 684—687

Pour un modèle dynamique de reproduction en capitalisme (le schéme de reproduction de Marx), l'auteur exécute une analyse de sensibilité par rapport à la vitesse d'accumulation, la composition organique du capital et la vitesse de plus-value et, de cette manière, supporte l'étude de problèmes de l'économie politique. Quant au comportement des fonctions de sensibilité, l'auteur présente des résultats théoriques.

Balzer, D.; Böhme, B.: IA 2.8.3.2

Sur l'estimation de la fiabilité de logiciel dans des systèmes de commande automatisés

msr **25** (1982) No. 12, pp. 687—690

Les documents de système jouent un rôle de plus en plus grand près l'automation. Avec cela, la fiabilité de logiciel gagne de l'importance particulière. Les auteurs discutent des aspects théoriques et pratiques pour l'estimation quantitative de la fiabilité de logiciel. De plus, des renvois pour l'amélioration de la fiabilité de logiciel sont donnés et des expériences pratiques sont présentées.

Boneß, R.; Doehl, U.: IA 1.1.3.0.

Sur des problèmes de la solution numérique de systèmes rigides d'équations différentielles pour des applications dans la technique de réglage

msr **25** (1982) No. 12, pp. 691—694

Près la simulation de systèmes dynamiques, il est souvent nécessaire de disposer de programmes d'integration qui, aussi pour des équations différentielles rigides, calculent des solutions stables avec précision suffisante assez rapidement que des exigences de temps réel sont mieux remplies. Pour cela, sur la base de la formule trapézoidale pondérée, les auteurs ont étudié les méthodes du filtrage, de l'adaptation exponentielle et de l'extrapolation et les mises ensemble dans un paquet de programme en PL/1.

Bestellschein

Technik-Literatur

Die aufgeführten Bücher können Sie mit diesem Bestellschein im Inland *beim örtlichen Buchhandel* bestellen.

Expl.

Informationsverarbeitung für Ingenieure
U. Schnabel, G. Bräuning und *H. Heinold*
1. Auflage, 312 Seiten, 187 Bilder, 27 Tafeln
Leinen 23,50 M
Bestell-Nr. 553095 3 .....

Transistor-Elektronik
K.-H. Rumpf und *M. Pulvers*
8., stark bearbeitete Auflage, 308 Seiten, 357 Bilder, 23 Tafeln
Leinen 24,— M
Bestell-Nr. 553084 9

Fernwirktechnik in Energiesystemen
K. G. Miljuškin
Übersetzung aus dem Russischen
1. Auflage, 240 Seiten, 76 Bilder, 26 Tafeln
Kunstleder 25,— M
Bestell-Nr. 552949 3

TECHNIK WÖRTERBUCH
Polytechnisches Wörterbuch
Deutsch-Spanisch
mit etwa 65000 Wortstellen
Herausgegeben von *K. H. Radde*
unter Mitarbeit von *F. L. de la Vera*
3., durchgesehene Auflage, 810 Seiten
Kunstleder 50,— M
Bestell-Nr. 552 636 4 .....

Darüber hinaus können Sie alle in diesem Heft angezeigten und rezensierten *Bücher des VEB Verlag Technik* mit diesem Vordruck bestellen.

Expl.

.....

.....

.....
Name, Vorname

.....
Anschrift mit Postleitzahl

....
Datum Unterschrift

messen · steuern · regeln

Herausgeber	Kammer der Technik, Wissenschaftliche Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA)
Verlag	VEB Verlag Technik DDR-1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 2870 0; Telex: 011 2228 techn dd
Verlagsdirektor	Dipl.-oec. *Herbert Sandig*
Redaktion	Dr.-Ing. *Dietrich Werner*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 287 03 62) Dipl.-Ing. *Dieter Herrmann*, Redakteur (Telefon: 287 03 74)
Lizenz-Nr.	1112 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
AN (EDV)	15936
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	4,— M, Abonnementpreis vierteljährlich 12,— M; Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Gesamtherstellung	VEB Druckerei „Thomas Müntzer", 5820 Bad Langensalza
	Umschlag — eingetragene Schutzmarke des Warenzeichenverbandes Regelungstechnik e. V., Berlin
Anzeigenannahme	Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigen-Annahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, 1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201. Anzeigenpreisliste Nr. 7 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, DDR-1157 Berlin, Hermann-Duncker-Str. 89
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
Bezugsmöglichkeiten	
DDR	sämtliche Postämter
SVR Albanien	Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propaganditit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R.E.P., 11a, Rue Paris, Sofia
VR China	China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P.O. Box 88, Beijing
ČSSR	PNS — Ústřední Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Vinohradská 41, 125 05 Praha PNS, Ústřed na Expedicia Tlače, Gottwaldovo nám. 48, 884 19 Bratislava
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzeće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang
Republik Kuba	Empresa de Comercio Exterior de Publicaciones, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana
VR Polen	C.K.P. i W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa
SR Rumänien	Directia Generala a Postei şi Difuzarii Presei, Palatul Administrativ, Bucureşti
UdSSR	Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore
Ungarische VR	P.K.H.I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P.O. Box 16, 1426 Budapest
SR Vietnam	XUNHASABA, 32, Hai Ba Trung, Hanoi
BRD und Berlin (West)	Brücken-Verlag GmbH, Ackerstraße 3, 4000 Düsseldorf 1; ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141—167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30
Österreich	Helios Literatur-Vertriebs GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, A-2345 Brunn am Gebirge
Schweiz	Genossenschaft Literaturvertrieb, Cramerstraße 2, 8004 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Buchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, DDR-7010 Leipzig, Postfach 160; und Leipzig Book Service, DDR-7010 Leipzig, Talstraße 29.

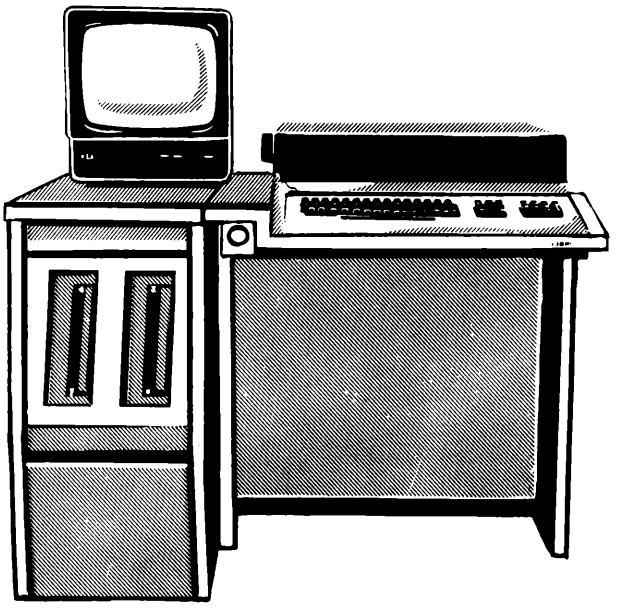
Annahmebedingungen

Die Redaktion veröffentlicht nur solche Beiträge, die noch an keiner anderen Stelle des In- und Auslandes in dieser Form erschienen sind oder bis zur Veröffentlichung erscheinen werden und die die Verfasser bis zum Ablauf des ersten, dem Erscheinen folgenden vollen Kalenderjahres an keiner anderen Stelle veröffentlichen, ohne hierzu vorher die Zustimmung der Redaktion der Zeitschrift eingeholt zu haben. Mit der Annahme und Veröffentlichung des Manuskriptes geht das ausschließliche Verlagsrecht für alle Sprachen und Länder auf den Verlag über. Es ist ohne ausdrückliche Genehmigung der Redaktion nicht gestattet, fotografische Vervielfältigungen, Mikrofilme u. a. von Heften der Zeitschrift, einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen. Ferner behält sich die Redaktion Änderungsvorschläge nach der Durcharbeitung der Beiträge vor. Beiträge müssen eine Kopie der Veröffentlichungsfreigabe des Betriebes bzw. des Instituts enthalten.

Richtlinien für die Manuskriptgestaltung sind dem Heft 1 (Beilage) messen · steuern · regeln 1982 zu entnehmen bzw. werden von der Redaktion auf Anfrage zugesandt. Die Einhaltung dieser Gesichtspunkte garantiert eine sofortige Bearbeitung und verzögerungsfreie Veröffentlichung der Arbeit in der Zeitschrift.

Isotimpex

Textverarbeitungsautomat ISOT 1002 C



Funktionen

- Eingabe eines Textes und seine Speicherung auf dem externen Speicher
- Automatische Formatierung des eingegebenen Textes
- Möglichkeit von Korrektur, Ergänzung, Streichung sowie Auslassung von Sätzen, Wörtern oder einzelnen Symbolen
- Zusammenstellung von Texten aus Bausteinen
- Wiederholschreiben

Einsatzgebiete

Der Textverarbeitungsautomat ISOT 1002 C dient der Automatisierung des Maschineschreibens und der Textbearbeitung in Schreibzimmern, Redaktionen und polygrafischen Kombinaten. Weitere Einsatzgebiete sind die Erarbeitung von Dokumentationen in Forschung und Entwicklung sowie die Rationalisierung der Büroarbeiten in großen Industrie- und landwirtschaftlichen Betrieben. Die Baugruppen des Textverarbeitungsautomaten sind zu einem selbständigen Arbeitsplatz zusammengefaßt.

Technische Parameter

- Steuerkern auf der Basis eines 8-Bit-Mikroprozessors
- Arbeitsspeicher von 48 KByte
- Bildschirmanzeige von bis zu 1920 Zeichen
- Kyrillische und lateinische Standardtastatur
- Funktionstastatur für Berichtigungen und Textverarbeitung mit Klartext
- Folienspeicher EC 5074 als externer Speicher
- Alphanumerischer Drucker EC 7187
- Netzanschluß: 220 V; 50 Hz

Export:

AHO »ISOTIMPEX«, Tschapaewstr. 51 · Sofia/ VR Bulgarien
Ruf: 74-61-51 · FS 022731, 022732

robotron

Bürocomputer
A 5110/ A 5120/ A 5130

Universelle Geräte der Generation moderner Bürocomputer für alle Belange der Abrechnung, Buchführung und Datenerfassung und -verarbeitung speziell für den Einsatz am Arbeitsplatz entwickelt.

VEB Robotron-Vertrieb
Berlin
DDR-1080 Berlin
Mohrenstraße 62

Exporteur:
Robotron Export-Import
Volkseigener
Außenhandelsbetrieb der
Deutschen Demokratischen
Republik
DDR-1080 Berlin
Friedrichstraße 61

Besuchen Sie uns bitte
auf der Leipziger Frühjahrsmesse,
Halle 15

Vorteile, die für sich sprechen:

- Programmpakete für anwenderorientierte Problemlösungen
- leistungsfähiges Betriebssystem, COBOL- und PASCAL-Compiler
- arbeitsplatzorientierte, variable, kombinationsfähige und leistungsstarke Formulartechnik für Leporello, Journalrolle, Einzelblatt und Kontokarten, geteilte Walze
- einfache Bedienung und hohe Sicherheit durch Spezialterminals
- hervorragendes Druckbild durch Typenrad- oder Mosaikdrucker 132 oder 210 Zeichen/Zeile
- moderne Zentraleinheit auf Basis eines 8 Bit-Mikroprozessors
- modulare Zentralspeicherkapazität bis 64 KB in C- und N-MOS
- vielseitige Peripherie durch Floppy Disk, Minifloppy, Kassettenmagnetband, Bildschirm und Zeilendisplay
- Datenübertragungsschnittstelle für den Einsatz als intelligentes Terminal